



Orientierende Unterlagen zur Wasserbaubewilligung

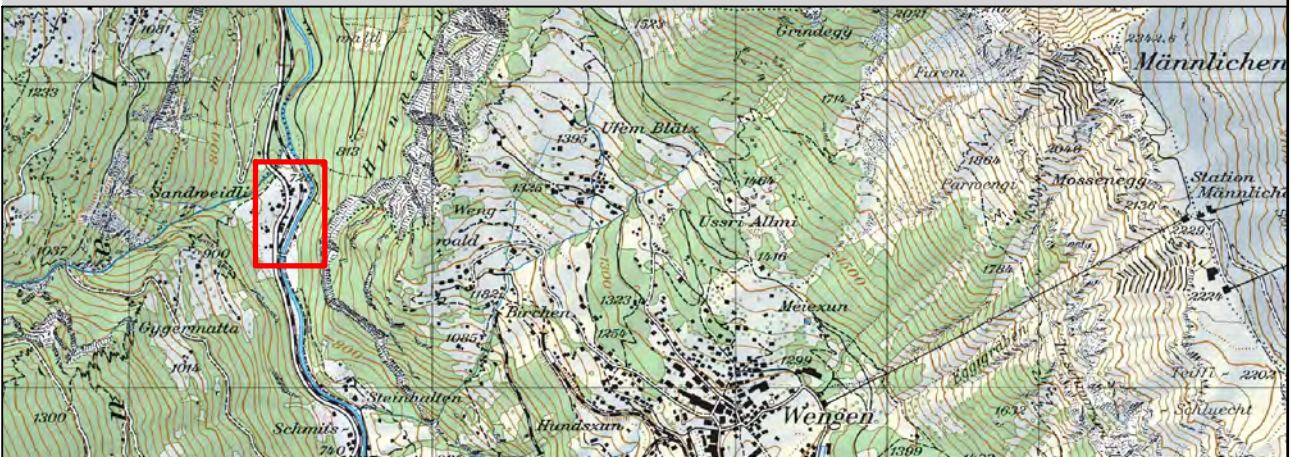
Beilage 2.1

Gewässer	Weisse Lütshine	Gewässer-Nr.	502
Gemeinden	Lauterbrunnen	Projekt-Nr.	3184
Erfüllungspflichtiger	Schwellenkorporation Lauterbrunnen	Plan-Nr.	
Projekt vom	August 2018	Format	A4
Revidiert			

Unterlage

Technischer Bericht

Hochwasserschutz und Längsvernetzung Sperrre Sandweidli



Projektverfasser



Mätzener & Wyss
Bauingenieure AG

Florastrasse 5 | 3800 Interlaken | 033 826 10 10 | mw-ing.ch



Flussbau AG SAH
dipl. Ing. ETH/SIA flussbau.ch



Schwellenkorporation Lauterbrunnen

Weisse Lütschine

Hochwasserschutz und Längsvernetzung
Sperrung Sandweidli

Technischer Bericht

Bern, 14. Juni 2019

Impressum

Projekttitlel	Lütschine Sandweidli
Projektnummer	R2016.07
Auftraggeberin	Schwellenkorporation Lauterbrunnen
Projektbearbeitung	Flussbau AG SAH, Schwarztorstrasse 7, 3007 Bern, Tel. 031 370 05 80 – Rolf Künzi, dipl. Kulturing. ETH – Thomas Berchtold, Dr. Sc. ETH, Dipl. Bau-Ing. ETH – Lukas Hunzinger, Dr. sc. tech, dipl. Kulturing. ETH – Nina Ryser, BSc Bauing. FHO – Alexandre Mérillat, MSc Umwelting. ETH Mätzener & Wyss Bauingenieure AG, Florastrasse 5, 3800 Interlaken, Tel. 033 826 10 10 – Stefan Tschiemer, dipl. Bauing. FH
Dokumentendatum	14.06.2019
Version / Verteiler	v1.2 / Genehmigung v1.1 / Öffentliche Auflage v1.0 / Vernehmlassung v0.1 / interner Entwurf

Inhalt

1	Zusammenfassung	1
2	Anlass und Auftrag	3
2.1	Ausgangslage und Anlass	3
2.2	Auftrag und Projektabgrenzung	5
2.3	Zielsetzungen	5
2.4	Projektorganisation	6
2.5	Partizipation und Information	6
2.5.1	<i>Akteure</i>	6
2.5.2	<i>Sitzungen und Besprechungen</i>	7
3	Ist-Zustand	9
3.1	Historische Ereignisse	9
3.2	Bestehende Schutzbauten	10
3.3	Nutzung und Infrastruktur	10
3.4	Charakteristik des Einzugsgebietes	11
3.5	Geometrie	12
3.6	Hydrologie	14
3.6.1	<i>Hochwasserabflüsse</i>	14
3.6.2	<i>Hochwasserganglinien</i>	15
3.7	Geschiebe und Schwemmholz	16
3.7.1	<i>Kornverteilungen</i>	16
3.7.2	<i>Geschiebeaufkommen</i>	18
3.7.3	<i>Schwemmholzaufkommen</i>	18
3.8	Grundwasser	19
3.9	Schwachstellenanalyse	19
3.10	Ökologie und Lebensräume	19
3.11	Gewässerraum	20
3.12	Landschaft und Schutzgebiete	21
3.13	Baugrund	21
3.14	Projekte Dritter	21
3.15	Altlasten	21
3.16	Wald	21
3.17	Gefährdung / Gefahrenkarte	22
3.18	Weitere Naturgefahren im Projektperimeter	22
3.19	Inventar historischer Verkehrswege (IVS)	22
4	Projektannahmen	23

4.1	Defizite	23
4.1.1	<i>Hochwasserschutzdefizite</i>	23
4.1.2	<i>Ökologische Defizite</i>	23
4.2	Projektziele	23
4.2.1	<i>Schutzziele</i>	23
4.2.2	<i>Ökologische Entwicklungsziele</i>	23
4.2.3	<i>Weitere Projektziele</i>	24
4.3	Dimensionierungsgrössen	24
4.3.1	<i>Abfluss</i>	24
4.3.2	<i>Korngrössen</i>	24
4.3.3	<i>Geschiebetrieb</i>	24
5	Variantenstudium und Entscheid Stufe Vorprojekt	25
5.1	Varianten	25
5.2	Variantenbewertung (Nutzwertanalyse)	25
5.3	Bestvariante und Variantenentscheid	26
6	Hydraulische Modellversuche	27
6.1	Ziel der Versuche	27
6.2	Resultate der Hauptversuche	27
6.3	Fazit Modellversuche	28
7	Projektbeschreibung	31
7.1	Variantenstudium und Entscheide Stufe Bauprojekt	31
7.2	Hydraulische Nachweise	34
7.2.1	<i>Traversensystem</i>	34
7.2.2	<i>Abflusstiefen</i>	34
7.2.3	<i>Traversenkolk</i>	34
7.2.4	<i>Kurvenkolk</i>	34
7.2.5	<i>Freibord</i>	34
7.3	Bauliche Massnahmen	35
7.3.1	<i>Randbedingungen</i>	35
7.3.2	<i>Gerinneneubau</i>	35
7.3.3	<i>Uferschutz</i>	37
7.3.4	<i>Verlegung Forststrasse</i>	38
7.3.5	<i>Wasserhaltungsmassnahmen</i>	38
7.3.6	<i>Schutz der Baustelle gegen Stein- und Eisschlag</i>	38
7.3.7	<i>Erschliessung der Baustelle</i>	39
7.3.8	<i>Werkleitungsanpassungen</i>	39
7.3.9	<i>Instandstellungsmassnahmen BOB</i>	39
7.3.10	<i>Betrieb und Unterhalt</i>	39
7.3.11	<i>Ökologische Massnahmen</i>	39
8	Kosten	41
8.1	Kostenvoranschlag	41
8.2	Träger des Bauvorhabens / Kostenteiler	42

9	Bauablauf	45
10	Auswirkungen Projekt / Massnahmen	47
10.1	Siedlungen und Infrastruktur	47
10.2	Werkleitungen	47
10.3	Gewässerökologie und Fischerei	47
10.4	Landwirtschaft	48
10.5	Wald	48
10.6	Flora und Fauna	48
10.7	Grundwasser und Oberflächengewässer	48
10.8	Landschaft und Ortsbild	48
10.9	Unterhalt und Pflege	49
11	Verbleibende Gefahren und Risiken	51
11.1	Überlast	51
12	Termine	53
13	Verwendete Grundlagen	55

Anhang

Anhang A Grobkostenschätzung Vorprojekt

Anhang B Nutzwertanalyse Variantenstudium Vorprojekt

Dossierbeilagen

- 1.1 Situation
- 1.2 Längenprofil
- 1.3 Querprofile
- 1.4 Normalprofil
- 1.5 Übersicht Baustellenerschliessung
- 2.1 Technischer Bericht
- 2.2 Naturgefarengutachten
- 2.3 Übersichtsplan
- 2.4 Rodungsunterlagen
- 2.5 Technischer Bericht Modellversuche
- 2.6 Gutachten Ethohydraulik
- 2.7 Vernehmlassungsbericht

1 Zusammenfassung

Die ca. 6 m hohe Betonsperre mit Vorsperre von 1933 in der Weissen Lüttschine zwischen Lauterbrunnen und Zweilütschine bei Sandweidli wurde durch verschiedene Hochwasser teils stark beschädigt, letztmals durch das grosse Hochwasser 2011. Eine weitere Beschädigung des Schwellensystems kann zu einer unkontrollierten Schadensfortpflanzung mit Rückwärtserosion und Unterspülung der Ufer (Bahntrasse Berner Oberland Bahn (BOB) und Hauptstrasse) sowie Zerstörung verschiedener Werkleitungen führen.

Die ursprüngliche Fischtreppe aus Beton wurde durch das Hochwasserereignis im Oktober 2011 vollständig zerstört. Zur Sicherstellung der Längsvernetzung wurde eine provisorische Fischtreppe errichtet. Diese wird nur zweitweise betrieben und kann nur mit grossem Unterhaltsaufwand zur Verbesserung der Längsvernetzung beitragen, obwohl die heutige Sperre Sandweidli das einzige Fischhindernis zwischen Brienersee und Stechelberg ist.

Die Schwellenkorporation Lauterbrunnen plante Massnahmen, um die Sohle im Bereich Sandweidli nachhaltig zu sichern und gleichzeitig eine zuverlässige Fischwanderung bis Stechelberg zu ermöglichen. Die Massnahmen werden so gestaltet, dass eine Absenkung der Sohlenlage am oberen Projektperimeterende infolge allfälliger Massnahmen im Oberwasser zwischen Lochbrücke und Sandweidli möglich bleibt.

Basierend auf einem Variantenstudium und hydraulischen Modellversuchen wurde das Bauprojekt für ein Traversensystem als Ersatz für die heutige Sperre erarbeitet. Der Projektperimeter mit dem Traversensystem erstreckt sich von unterhalb des Fussgängerstegs (km 2.610) bis oberhalb der Mündung des Soubachs (km 2.385). Zudem sollen mit der gleichen Wasserbaubewilligung Ufersanierungsarbeiten am linken Damm zwischen km 2.390 und 2.300 für die BOB ausgeführt werden.

Das Traversensystem mit einem Bruttogefälle von 6% sieht 14 ca. 0.85 m hohe Riegel im Abstand von 14 m und eine Verbreiterung der Gewässersohle auf 14 m vor. Die Uferböschungen bestehen aus gesetzten Blocksätzen mit einer Neigung von 3:2, der obere Uferbereich ist bestockt und flacher geneigt. Zur Optimierung des Fischaufstiegs werden die Traversenfelder mit einzelnen Strukturelementen belegt und die Riegel jeweils mit einer Niederwasserrinne ausgebildet. Die Blöcke der Riegel und der Böschung sind in Hinterbeton versetzt.

Als flankierende Massnahme wird die bestehende Forststrasse in den Hang verlegt. Sie wird zudem für Unterhaltsarbeiten bis zum Fussgängersteg verlängert. Ebenfalls verlegt werden müssen die Swisscom-Hauptleitung und ein Hochspannungsleitungsmast.

Der Kostenvoranschlag für das Gesamtprojekt (inkl. Ufersanierung für die BOB) aber ohne Verlegung von Werkleitungen beläuft sich auf 6.0 Mio. CHF (inkl. Risikokosten und MwSt.).

Die Bauarbeiten im Gerinne erfolgen während der Niederwasserperiode zwischen Oktober und April von unten nach oben und sollten in einem Winter abgeschlossen werden können. Dazu ist eine Wasserhaltung ausserhalb des Gerinnes und eine aufwändige Sicherung der Baustelle gegen Eis- und Steinschlag notwendig. Die Baustellenzufahrt erfolgt von Zweilütschinen her über die bestehende Forststrasse.

Das Projekt soll im Laufe des Sommers 2019 genehmigt werden. Die Wasserbauarbeiten sollen frühestens im Frühjahr 2020 abgeschlossen sein.

2 Anlass und Auftrag

2.1 Ausgangslage und Anlass

Die Sohle der Weissen Lüttschine ist am unteren Ende der Gemeinde Lauterbrunnen im Bereich Sandweidli mit einer Sperre verbaut (Situation in Abbildung 1, Koordinaten: 2'635'602/1'162'645). Das Sperrsystem Sandweidli wurde 1933 nach folgeschweren Sohlenerosionsprozessen gebaut und stabilisierte seither lokal die Sohle der Lüttschine bei Sandweidli. Das System besteht aus einer rund 6 m hohen Hauptsperre und einer kleineren, unterwasserseitigen Vorsperre. Die Sperre war für stromaufwärts schwimmende Fische über lange Zeit unpassierbar. Erst nach dem Bau einer Fischtreppe in den Jahren 1994/95 wurde die Längsvernetzung der Lüttschine verbessert.

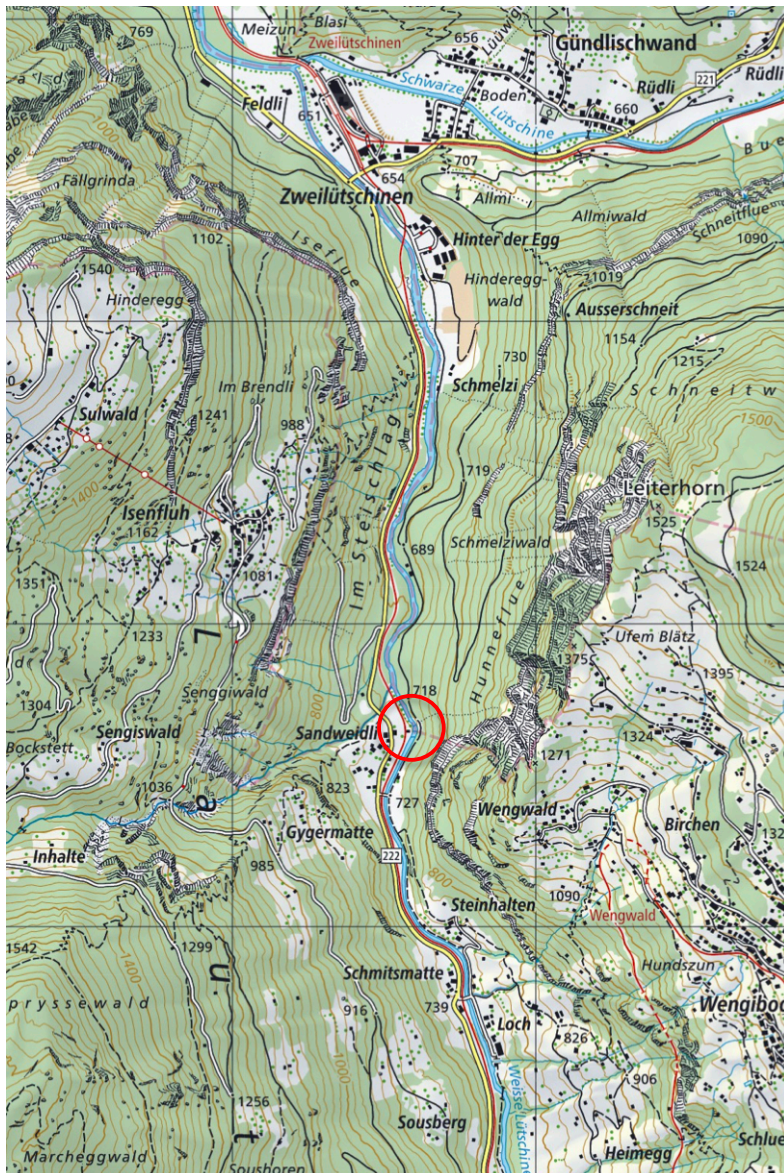


Abbildung 1:
Situation des Perimeters
(roter Kreis) auf der
Landeskarte 1:25'000.
Quelle:
map.geo.admin.ch.

Das Hochwasserereignis im Oktober 2011 zerstörte die Fischtreppe vollständig und führte zu einer Unterspülung der Vorsperre (Abbildung 2). Eine weitere Unterspülung der Vorsperre wurde durch Sofortmassnahmen mittels grossen, provisorisch geschütteten Blöcken verhindert (Abbildung 3). Die Fischtreppe wurde durch eine Holzkon-

struktur ersetzt, deren Betrieb aber aufgrund des hohen Unterhaltsaufwandes eingestellt wurde (Abbildung 4).

Der bauliche Zustand der bereits 80-jährigen Betonsperre ist unklar, die Vorsperre nur provisorisch gesichert und die Längsvernetzung des Gewässers momentan nicht gewährleistet. Eine weitere Beschädigung des Schwellensystems könnte zu einer unkontrollierten Schadensfortpflanzung mit Rückwärtserosion und Unterspülung der Ufer führen, welche weitreichende Folgeschäden verursachen könnte (Erosion Bahntrasse BOB). Massnahmen sowohl zur Sicherung der Sohle als auch zur Verbesserung der Längsvernetzung der Weissen Lüttschine sind deshalb zwingend notwendig.

Abbildung 2:
Unterspülung der Vorsperre. Foto: Ralf Schai.



Abbildung 3:
Provisorische Sicherung der Vorsperre mit grossen Blöcken. Foto: Ralf Schai





Abbildung 4:
Instandstellung der
rechten Böschung und
des Fischpasses nach
dem HW-Ereignis 2011.
Foto: Mätzener & Wyss
AG.

2.2 Auftrag und Projektbegrenzung

Die Schwellenkorporation Lauterbrunnen hat der IG Sandweidli, zusammengesetzt aus der federführenden Flussbau AG SAH und der Mätzener & Wyss Bauingenieure AG, den Auftrag zur Ausarbeitung eines Vorprojekts (basierend auf der Offerte vom 30.04.2015) und eines Bauprojekts bis und mit Genehmigung (basierend auf der Offerte vom 21.04.2016) zur Verbesserung der aktuellen Situation erteilt.

Das Projekt umfasst Massnahmen zur Sicherung der Sohle, wie dies bisher durch die Sperre gewährleistet war, und Massnahmen zur Längsvernetzung des Abschnitts (Fischdurchgängigkeit). Darüber hinaus sind keine Massnahmen vorgesehen. Der Projektperimeter wird minimal gehalten und erstreckt sich vom oberen bis zum unteren Rand der notwendigen Massnahmen.

Zudem begleitete die Flussbau AG SAH im Auftrag der Schwellenkorporation Lauterbrunnen die hydraulischen Modellversuche, welche zur Überprüfung verschiedener Sohlensicherungs-Varianten an der Hochschule für Technik in Rapperswil HSR durchgeführt wurden.

2.3 Zielsetzungen

Die Projektziele umfassen die folgenden Punkte:

- Gewährleistung einer langfristigen Sohlensicherung im Bereich Sandweidli durch Sanierung oder Ersatz der bestehenden Sperre
- Verbesserung der Fischwanderung
- Rasche Umsetzung der Massnahmen
- Bauliche Massnahmen im Längsprofil sollen so konzipiert sein, dass sie zu einem späteren Zeitpunkt an eventuelle Sohlenlageänderungen im Rahmen des anstehenden Hochwasserschutzprojektes 'Loch-Sandweidli' angeglichen werden können. Der für diese Anpassung notwendige Aufwand soll verhältnismässig sein.

Vorprojekt

Im Rahmen eines Vorprojektes sollten vorerst verschiedene Massnahmen untersucht und daraus die Bestvariante bestimmt werden. Die Bestvariante wurden weiter zu einem Bauprojekt ausgearbeitet und soll planrechtlich sichergestellt werden.

Hydraulische Modellversuche

Ohne das Vorprojekt mit der Empfehlung einer Bestvariante abzuschliessen, wurde die Hochschule für Technik Rapperswil HSR beauftragt, die Möglichkeit der Bildung eines natürlichen Step-Pool-Systems im hydraulischen Modell zu prüfen und das System weiterzuentwickeln.

Bauprojekt bis Genehmigung

Basierend auf den Erkenntnissen aus den hydraulischen Modellversuchen an der HSR wurde ein Bauprojekt bis zur Genehmigung für den Ersatz des Sperrsystems Sandweidli erarbeitet.

2.4 Projektorganisation

Die Büros Flussbau AG SAH sowie Mätzener & Wyss Bauingenieure AG haben sich zur Ingenieurgemeinschaft IG Sandweidli zusammengeschlossen. Die Federführung liegt bei der Flussbau AG SAH. Sie zeigt sich für die Gesamtprojektleitung sowie für die hydraulischen und geschiebetechnischen Fragestellungen verantwortlich. Die Projektierung der Massnahmen, die Kostenschätzungen und die Zeichenarbeiten werden durch die Mätzener & Wyss Bauingenieure AG sichergestellt. Die Firma Geotest AG hat ein Gutachten zum Umgang der im Projektperimeter vorhandenen Stein- und Eisschlagfahr erstellt (Beilage 2.2).

Die Arbeiten für eine allfällige Baugrunduntersuchung sowie für eine geologische und geotechnische Baubegleitung werden zu einem späteren Zeitpunkt vergeben.

2.5 Partizipation und Information

2.5.1 Akteure

Der Projektperimeter liegt vollumfänglich innerhalb des Gemeindegebiets Lauterbrunnen. Auftraggeber des Projekts ist die Schwellenkorporation Lauterbrunnen, welche für die Weisse Lütschine zuständig ist. Bis zur Grenzbereinigung von 2017 bildete die Weisse Lütschine teilweise die Grenze zwischen den Gemeinden Lauterbrunnen und Gündlichwand. Entsprechend war in früheren Projektphasen auch die Schwellenkorporation Gündlichwand involviert.

Die zuständige Leitbehörde ist der Oberingenieurkreis I des Tiefbauamts des Kantons Bern. Neben dem Tiefbauamt sind folgende kantonalen Fachstellen betroffen und wurden bei der Projektbearbeitung miteinbezogen: Waldabteilung Alpen (KAWA), Fischereiinspektorat (FI), Abteilung Naturförderung (LANAT), Amt für Wasser und Abfall (AWA) und Amt für Gemeinden und Raumordnung (AGR). Weitere Fachstellen wurden bei Bedarf im Laufe des Verfahrens beigezogen.

Grundeigentümer der Grundstücke Nr. 2, Nr. 2808 und Nr. 4859.01 ist das AGG Amt für Grundstücke und Gebäude des Kantons Bern. Das Grundstück Nr. 2440 ist im Besitz der Einwohnergemeinde Lauterbrunnen. Eigentümer des Grundstücks Nr. 5991 entlang des linken Ufers sind die Berner Oberland Bahnen AG Interlaken (BOB).

Die BOB hat veranlasst, dass eine notwendige Ufersanierung unterhalb des eigentlichen Projektperimeters im Rahmen dieses Wasserbaubewilligungsverfahrens geplant und umgesetzt wird. Dieses Teilprojekt wird als indirekter Auftrag der BOB über die Wasserbaubewilligung abgewickelt und ist Teil des Projekts, wird aber vollumfänglich durch die BOB finanziert.

2.5.2 Sitzungen und Besprechungen

Für die Erarbeitung des Bauprojektes wurden alle relevanten Projektentscheide im Rahmen des Leitungsteams mit den Vertretern der Schwellenkorporation, der Gemeinde und den kantonalen Fachstellen sowie den Projektverfassern gefällt. Die Grundeigentümer wurden bei der Projekterarbeitung miteinbezogen. Die Öffentlichkeit wurde anlässlich der Mitgliederversammlungen der Schwellenkorporation Lauterbrunnen über das Vorhaben informiert.

Die Tabelle 1 beinhaltet die wichtigsten Sitzungen, welche im Rahmen der Erarbeitung des Vor- und des Bauprojekts stattgefunden haben. Die Sitzungen sind protokolliert.

Termin	Anlass	Teilnehmende	Ziel
02.06.2015	Projektsitzung Nr. 1 Vorprojekt	R. Janzi (SK Lauterbrunnen) B. Burkhard (SI) P. Staub (Gde. Lauterbrunnen) J. Lauper (BOB) S. Tschiemer (Mätzener & Wyss) T. Berchtold (Flussbau AG SAH)	Startsitzung Mögliche Massnahmen / Varianten
10.09.2015	Projektsitzung Nr. 2 Vorprojekt	P. Wyss (SK Lauterbrunnen) P. Gertsch (SK Gündlischwand) T. Gertsch (SK Gündlischwand) P. Staub (Gde. Lauterbrunnen) O. Hitz (OIK I) W. Müller (FI) M. Flück (FI) S. Tschiemer (Mätzener & Wyss) T. Berchtold (Flussbau AG SAH)	Untersuchte Varianten vorgestellt und bewertet Bestvariante bestimmt Weiteres Vorgehen abge- klärt
02.02.2016	Besprechung Offerten Modellversuche	R. Janzi (SK Lauterbrunnen) P. Wyss (SK Lauterbrunnen) M. Eggler (SK Lauterbrunnen) O. Hitz (OIK I) W. Müller (FI) S. Tschiemer (Mätzener & Wyss) T. Berchtold (Flussbau AG SAH)	Entscheid Vergabe und Klärung Finanzierung der Modellversuche
28.06.2016	Öffentlichkeitsinfo Mitgliederversammlung Schwellenkorporation	Vorstand und Mitglieder der Schwellenkorporation Lauterbrunnen	Projektinformation
11.01.2017	Projektsitzung Nr. 3 Bauprojekt	R. Janzi (SK Lauterbrunnen) R. Schai (SK Lauterbrunnen) T. Gertsch (SK Gündlischwand) P. Staub (Gde. Lauterbrunnen) O. Hitz (OIK I) B. Burkhard (SI Oberland Ost) J. Lauper (BOB) W. Mueller (FI) M. Flück (FI) S. Tschiemer (Mätzener & Wyss) T. Berchtold (Flussbau AG SAH)	Vorstellung Erkenntnisse aus den Modellversuchen, Besprechung weiteres Vorgehen

Tabelle 1:
Sitzungen und Veranstaltungen im Rahmen der Projekterarbeitung.

20.01.2017	Besprechung Ethohydraulik	W. Mueller (FI/RenF) M. Flück (FI/FA) J. Guthruf (Aquatika GmbH) W. Dönni (Fischwerk) J. Speerli (HSR) S. Gysin (HSR) T. Berchtold (Flussbau AG SAH)	Festlegen Anforderungen für Aufstieg Seeforellen
23.05.2017	Begehung mit Fachstellen	R. Schai (SK Lauterbrunnen) P. von Allmen (SK Gündlischwand) O. Hitz (OIK I) W. Mueller (FI) M. Flück (FI) M. Sonderer (KAWA) H. Schindler (BOB) D. Liener (BOB) J. Lauper (BOB) S. Tschiemer (Mätzener & Wyss) T. Berchtold (Flussbau AG SAH)	Vorstellen weiterentwickelte Varianten, Aufnahme Inputs aus Fachstellen / BOB
08.02.2018	Besprechung Finanzierung	A. Schertenleib (BAFU) U. von Blücher (BAFU) O. Hitz (OIK I) W. Müller (RenF) S. Tschiemer (Mätzener & Wyss) T. Berchtold (Flussbau AG)	Klärung Unterstützung BAFU und Subventionie- rungsmöglichkeiten
26.06.2018	Öffentlichkeitsinfo Mitgliederver- sammlung Schwellenkorporation	Vorstand und Mitglieder der Schwel- lenkorporation Lauterbrunnen	Projektinformation, Brutto- kredit und Projektbeschluss

3 Ist-Zustand

3.1 Historische Ereignisse

Eine umfangreiche Zusammenstellung vergangener Hochwasserereignisse in der Weissen Lutschine ist in der Konzeptstudie Sohlenabsenkung Sandweidli [5] zu finden. Ein Auszug der wichtigsten Ereignisse im Lauterbrunnental sind in der Tabelle 2 aufgelistet und mit Hochwasserabflüssen der BAFU-Messstation in Zweilütschinen [2] ergänzt.

Jahr	Abfluss [m ³ /s] in Zweilütschinen [2]	Ursache	Folgen
1933	110	Gewitter	Überflutungen, Zerstörung Sohlensicherungen
1939	95		nicht dokumentiert
1042	90		nicht dokumentiert
1981	100		nicht dokumentiert
1987	82	Gewitter	Schäden an bestehenden Bauten
2005	109	Andauernder Niederschlag	Seiten-/Tiefenerosion, Geschiebeablagerungen
2007	78	Gewitter	Seiten-/Tiefenerosion, Geschiebeablagerungen
2011	112	Starkregen + Schneeschmelze	Seiten-/Tiefenerosion, Geschiebeablagerungen

Tabelle 2:
Zusammenstellung der wichtigsten vergangenen Hochwasserereignisse im Lauterbrunnental.

Vor dem Jahr 1920 war man im Bereich Sandweidli immer wieder mit Tiefenerosion in der Lutschine konfrontiert. Um den Erosionsprozessen Einhalt zu gebieten, wurden als sohlensichernde Massnahmen oberhalb der heutigen Sperre sogenannte Grundswellen aus Holz in regelmässigen Abständen erstellt. Diese wurden bereits nach wenigen Jahren während des Hochwassers von 1933 unterspült und teilweise freigelegt, worauf die sohlensichernden Massnahmen versagten. Durch Tiefenerosion erreichte das Gerinne über eine Strecke von 47 m ein Gefälle von 12 %. Als neue Massnahme gegen die fortschreitende Sohlenerosion wurde bereits 1934 die noch heute vorhandene Sperre erbaut (Abbildung 5).



Abbildung 5:
Bau der Hauptsperre Sandweidli, 1934. Blick gegen die Fliessrichtung. Aus Fotoarchiv Schwellenkorporation Lauterbrunnen.

Das Hochwasserereignis von 2011 führte wiederum zu grossen Kapazitätsengpässen im ganzen Lauterbrunnental. Die Durchflusskapazität beim Steg oberhalb Sandweidli war früh überschritten, es kam folglich zu linksseitiger Ausuferung und Abfluss über die Hauptstrasse und das Bahntrassee. Zudem wurde die Vorsperre Sandweidli unterspült und der Fischaufstieg zerstört. Die Unterspülung der Vorsperre war soweit fortgeschritten, dass bei Niederwasser kein Überfall mehr vorhanden war. Als Sofortmassnahmen wurde die Vorsperre mit Blöcken und Geschiebe hinterfüllt und gesichert.

3.2 Bestehende Schutzbauten

Zur Fixierung der Sohle der Weissen Lutschine bei Sandweidli wurde in den 1930er-Jahren eine rund 6 m hohe Sperre mit anschliessender Vorsperre erbaut (Abbildung 6). Die Ufer sind beidseitig hart und steil verbaut. Durch das Sperrensystem wird auf einer Länge von 25 m eine Höhe von rund 8 m überwunden.

Abbildung 6:
Bestehendes Sperrensystem (Hauptsperre und Vorsperre) in der Weissen Lutschine bei Sandweidli. Aufnahme vom August 2015.



3.3 Nutzung und Infrastruktur

Verkehr

Unmittelbar entlang des linken Ufers verläuft die Bahnlinie der zwischen Interlaken und Lauterbrunnen verkehrenden BOB-Linie. Die zweigleisige Bahnstation Sandweidli bildet eine Kreuzungsstelle. Ca. 30 m zurückversetzt verläuft die Hauptstrasse. Die Bahnlinie und die Hauptstrasse bilden wichtige touristische Zubringer in die Jungfrau-Region. Der Objektschutz am linken Ufer ober- und unterhalb der Sperre obliegt zu 100 % der Wasserbaupflicht der BOB.

Entlang des rechten Ufers verläuft eine Forststrasse, die auch Teil des Wanderwegnetzes ist und zudem als Radweg benutzt wird (Abbildung 7). Am oberen Projektperimeterrand, rund 230 m oberhalb der Hauptsperre, quert ein Steg die Lutschine.

Siedlung

Die Ortschaft Sandweidli umfasst mehrere Wohn- und Gewerbehäuser, welche sich alle westlich der Bahnlinie befinden. Der Projektperimeter liegt gemäss Karte Richtplan-Informationssystem innerhalb des Streusiedlungsgebiets. Unmittelbar an den Wanderweg angrenzend ist ein kleiner, alter Schopf (Abbildung 7).



Abbildung 7:
Rechtsufriger Wander-
und Radweg im oberen
Teil des Projektperime-
ters. In der Bildmitte ist
zudem der Schopf zu
sehen.

Werkleitungen

- Die Hauptversorgungsleitung der Swisscom ins Lauterbrunnental verläuft rechtsufrig entlang des Wanderwegs /der Forststrasse.
- Freileitungen der BKW und des Kraftwerks der Jungfraubahnen (KWJB) queren zwischen km 2.6 und km 2.55 die Lütschine. Die Masten liegen beidseits jeweils in Ufernähe.
- Zwei Stickleitungen für Trinkwasser und Schmutzwasser ragen bei ca. km 2.55 bis ins Gerinne resp. bis zur linken Böschung der Lütschine.
- Die BOB verfügt auf der Anhöhe in linksseitiger Verlängerung der Sperrenachse ein kleines Gebäude, welches erst kürzlich mit teuren Signalsteueranlagen ausgestattet worden ist.

Wassersport

Der Projektperimeter befindet sich in einem bei Wassersportlern beliebten Flussabschnitt. Die Sperre Sandweidli galt bisher als besonders herausforderndes Hindernis. Nachdem das Hochwasser 2011 die Vorsperre beschädigt hatte und zur provisorischen Sohlensicherung grosse Blöcke eingebracht und mit Drahtseilen gegenseitig befestigt werden mussten, wurde im Bereich der Sperre Sandweidli ein Fahrverbot für Wassersportler erlassen.

3.4 Charakteristik des Einzugsgebietes

Die Weisse Lütschine entsteht ganz hinten im Lauterbrunnental auf dem Schiirboden durch den Zusammenfluss der Tschingel-Litschina und des Schmadribachs, welche am Tschingelfirn bzw. am Breithornletscher entspringen. Die Weisse Lütschine wird durch mehrere Seitenbäche gespeisen, die grössten Zuflüsse bis zum Projektperimeter Sandweidli sind die Sefinen-Lütschine und der Trümmelbach. Unterhalb des Projektperimeters mündet der Sousbach in die Weisse Lütschine. Das Einzugsgebiet wird im Osten durch Eiger, Mönch und Jungfrau begrenzt, im Süden durch Breit- und Tschingelhorn und im Westen durch Gspalten- und Schilthorn. Einige der Zuflüsse stürzen als hohe Wasserfälle über die steilen Felswände ins Lauterbrunnental. Das Einzugsgebiet ist in der Abbildung 8 eingezeichnet. Die Einzugsgebietsfläche beläuft sich auf rund 140 km².

Abbildung 8:
Einzugsgebiet der Weissen Lütschine bis zum Projektperimeter Sandweidli. Ohne Massstab.
Quelle Karte:
map.geo.admin.ch.



Der obere Teil des Einzugsgebiets bis zum Zusammenfluss mit der Sefinen-Lütschine ist eher steil. Danach fliesst die Weisse Lütschine kanalisiert auf dem flachen Talboden bis Lauterbrunnen. Unterhalb von Lauterbrunnen verengt sich das Tal wieder, das Gefälle in der Weissen Lütschine ist bis zum Zusammenfluss mit der Schwarzen Lütschine wieder steiler.

3.5 Geometrie

Das Gerinne im Projektperimeter ist ein typisches Trapezprofil mit Vorländern. Die Sohlenbreite beträgt 9 bis 13 m, die Höhe der Vorländer variiert zwischen 2 und 9 m.

Querprofile wurden auf der Strecke in den Jahren 2003, 2005 und 2011 gemessen (Abbildung 9 bis Abbildung 12). Oberhalb der Sperre besteht eine leichte Ablagerungstendenz (QP 2605) und unterhalb eine Erosionstendenz (QP 2303 und 2400). Kurz unterhalb der Vorsperre (QP 2501) geben die Sohlenvermessungen zwischen 2003, 2005 und 2011 eine Erosionstendenz, danach wieder eine Ablagerungstendenz wieder. Die Querprofile 2011 wurden in November aufgenommen, d.h. kurz nach dem Hochwasser 2011, während welchem die Vorsperre unterspült wurde. Es ist deshalb möglich, dass diese Querprofil einen temporären Zustand wiedergeben und nicht eine langfristige Tendenz abbilden.

km 2.303

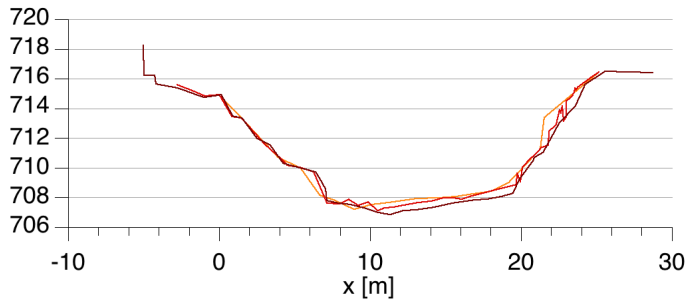


Abbildung 9: Querprofile
km 2.303, Massstab
1:500



km 2.400

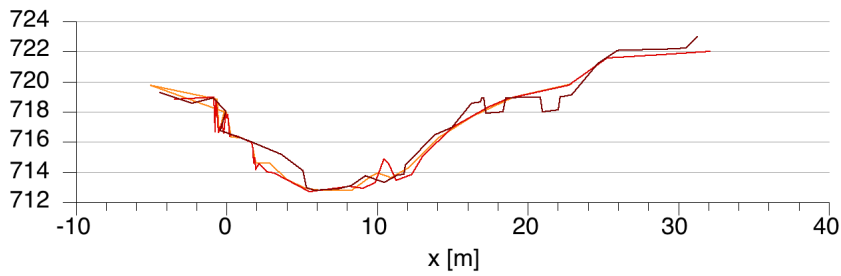


Abbildung 10: Querprofile
km 2.400, Massstab
1:500



km 2.501

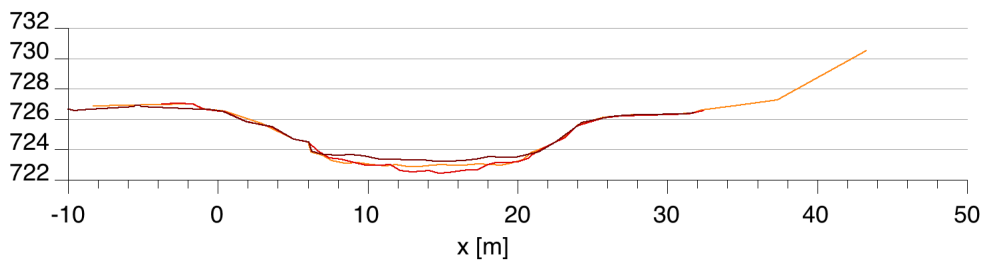
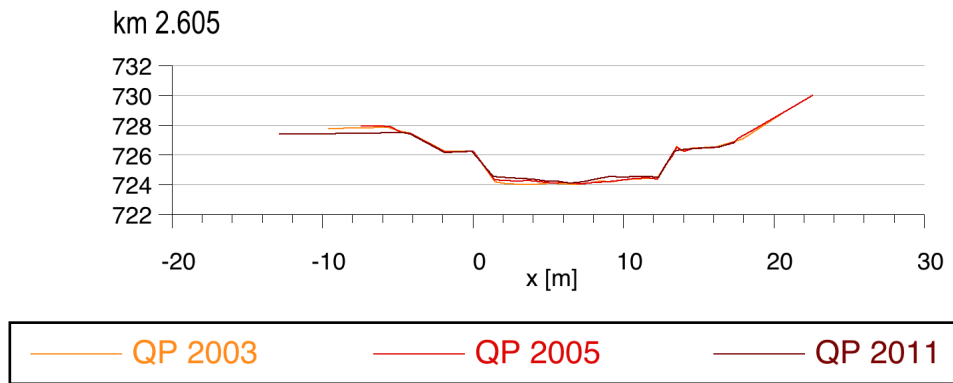


Abbildung 11: Querprofile
km 2.501, Massstab
1:500



Abbildung 12: Querprofile
km 2.605, Massstab
1:500



3.6 Hydrologie

3.6.1 Hochwasserabflüsse

In der Gefahrenkarte der Gemeinde Lauterbrunnen [9] (Beilageblatt Szenarien und Auslösestellen Hochwasser; Auslösestelle 100014050) werden für die Weisse Lütschine beim Steg oberhalb Sandweidli die folgenden Abflusswerte angegeben (Tabelle 3).

Tabelle 3:
Abflusswerte der Weissen Lütschine oberhalb Sandweidli aus [9].

Jährlichkeit	HQ ₃₀ [m ³ /s]	HQ ₁₀₀ [m ³ /s]	HQ ₃₀₀ [m ³ /s]	EHQ [m ³ /s]
Sandweidli	77	89	104	116

Die Abflussspitzen der Hochwasserszenarien für den Projektperimeter wurden ausgehend von den Abschätzungen aus der Studie von Naef und Lehmann [7] bestimmt. Diese Studie berücksichtigt die massgebenden Hochwasser der Lütschine unter Berücksichtigung der Häufung der Hochwasser seit dem Jahr 2000 und macht u. a. Angaben zu den Hochwasserabflussspitzen in Lauterbrunnen und in Zweilütschinen (Tabelle 4). Ausgehend von diesen Werten wurde unter Berücksichtigung der Einzugsgebietsflächen die massgebenden Abflussspitzen im Projektperimeter Sandweidli oberhalb der Soubachmündung interpoliert (Tabelle 5).

Tabelle 4:
Hochwasserjährlichkeiten und Abflussspitzen an unterschiedlichen Kontrollquerschnitten in der Weissen Lütschine aus [7].

Jährlichkeit	HQ ₅ [m ³ /s]	HQ ₁₀ [m ³ /s]	HQ ₃₀ [m ³ /s]	HQ ₁₀₀ [m ³ /s]	HQ ₃₀₀ [m ³ /s]	EHQ [m ³ /s]
Sefinen-Lütschine	18	19	23	27	31	40
Schmadribach	30	31	40	45	53	60
Stechelberg	36	38	48	70	82	98
Lauterbrunnen	57	62	77	89	104	116
Zweilütschinen	75	80	100	115	135	150

Tabelle 5:
Abflussspitzen der Hochwasserszenarien im Projektperimeter Sandweidli oberhalb der Soubachmündung.

Jährlichkeit	HQ ₅ [m ³ /s]	HQ ₁₀ [m ³ /s]	HQ ₃₀ [m ³ /s]	HQ ₁₀₀ [m ³ /s]	HQ ₃₀₀ [m ³ /s]	EHQ [m ³ /s]
Projektperimeter Sandweidli	63	68	85	98	115	128

3.6.2 Hochwasserganglinien

Die Hochwasserganglinien für die Weisse Lüttschine bei Sandweidli wurden aus den in [8] erarbeiteten Abflussganglinien bei der Zweilütschinenbrücke (oberhalb der BAFU Messstation 2200 Zweilütschinen in der Weissen Lüttschine) abgeleitet. Dazu waren als typische Abflussganglinien eines kurzen Ereignisses das aufgezeichnete Hochwasserereignis vom 10.10.2011 mit einer Abflussspitze in Zweilütschinen von ca. $112 \text{ m}^3/\text{s}$ verwendet worden. Die entsprechenden Ganglinien HQ_{100} und HQ_{300} bei Zweilütschinen waren durch Streckung der Hochwasserspitze auf den Spitzenabfluss gemäss der Studie von Naef/Lehmann [7] von 115 resp. $135 \text{ m}^3/\text{s}$ konstruiert worden. Als Hochwasserspitze war der Bereich von 4 resp. 5 Stunden vor der eigentlichen Spitze bis 2 resp. 3 Stunden nach der Spitze verwendet worden (Abbildung 13).

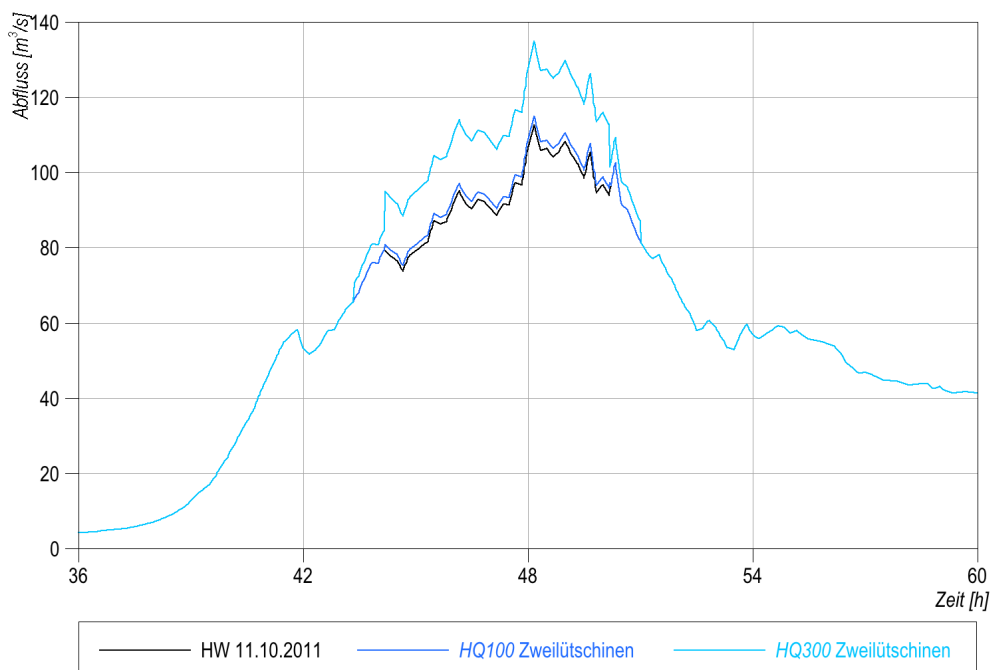
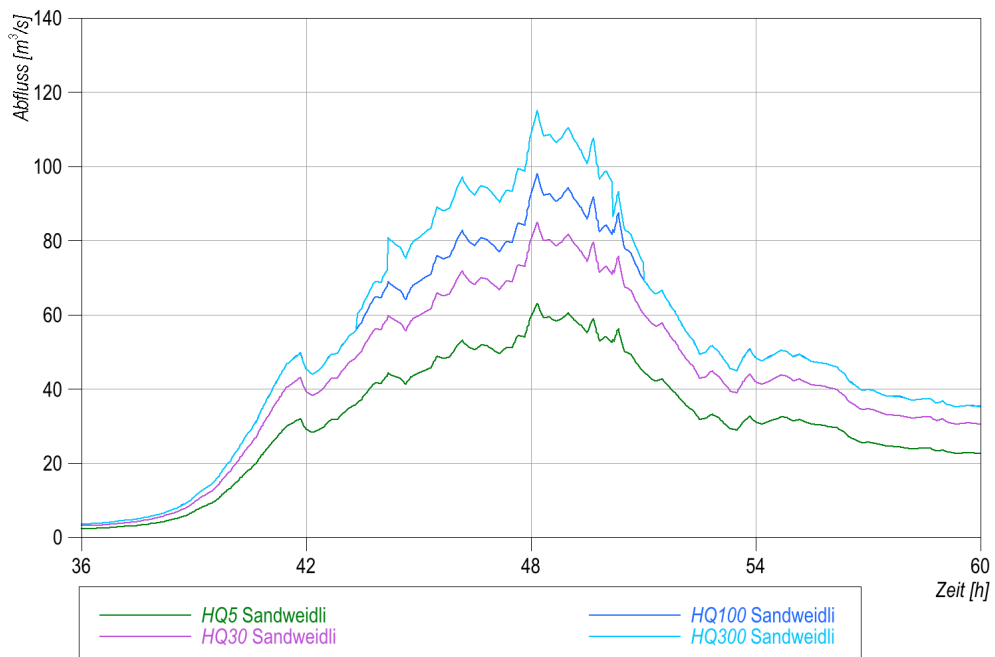


Abbildung 13 :
Gemessene Hochwasserganglinie 2011 und konstruierte Hochwasserganglinien HQ_{100} und HQ_{300} für die Weisse Lüttschine in Zweilütschinen aus [8].

Für die Weisse Lüttschine bei Sandweidli wurde die Abflussganglinie HQ_{300} ausgehend von der Abflussganglinie HQ_{300} , alle übrigen Abflussganglinien ausgehend von der HQ_{100} -Ganglinie bei Zweilütschinen konstruiert. Die Ganglinien wurden entsprechend den interpolierten Abflussspitzen bei Sandweidli (Tabelle 5) über die ganze Dauer gestaucht (Abbildung 14).

Abbildung 14:
Konstruierte massgebende Hochwasserganglinien für die Weisse Lüttschine bei Sandweidli.

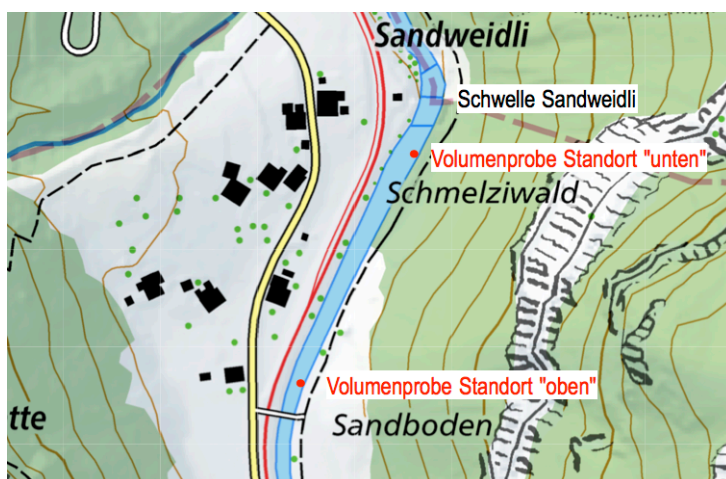


3.7 Geschiebe und Schwemmholz

3.7.1 Kornverteilungen

Im Rahmen der Ereignisanalyse des Hochwassers von 2011 [6] wurden in verschiedenen Abschnitten der Weissen Lüttschine Linienproben entnommen und daraus Kornverteilungen und charakteristische Korngrössen für das laufende Geschiebe und das Untergrundmaterial abgeleitet. Für das laufende Projekt wurden zusätzlich zwei Volumenproben innerhalb des Projektperimeters entnommen, um dadurch zuverlässigere Angaben über das hinter der Sperre abgelagerte Material zu erhalten. Die Entnahmorte der Volumenproben befinden sich am oberen Perimeterrand unterhalb des Stegs sowie unmittelbar oberhalb der Sperre jeweils in Gerinnemitte (Abbildung 15).

Abbildung 15:
Standorte der Volumenproben.



Die Analyse der Volumenproben ergab verhältnismässig grosse charakteristische Korndurchmesser. Dies weist auf Ablagerungen innerhalb des Perimeters von eher grobem Material und durch grössere Hochwasserereignisse hin. Die in [6] als Sohle beschriebenen charakteristischen Korngrössen dürften durch eher kleinere Hochwasser-

rereignisse verfrachtet worden sein.

Ein Längenprofil der charakteristischen Korngrößen in der Weissen Lüttschine ist in der Abbildung 16 dargestellt.

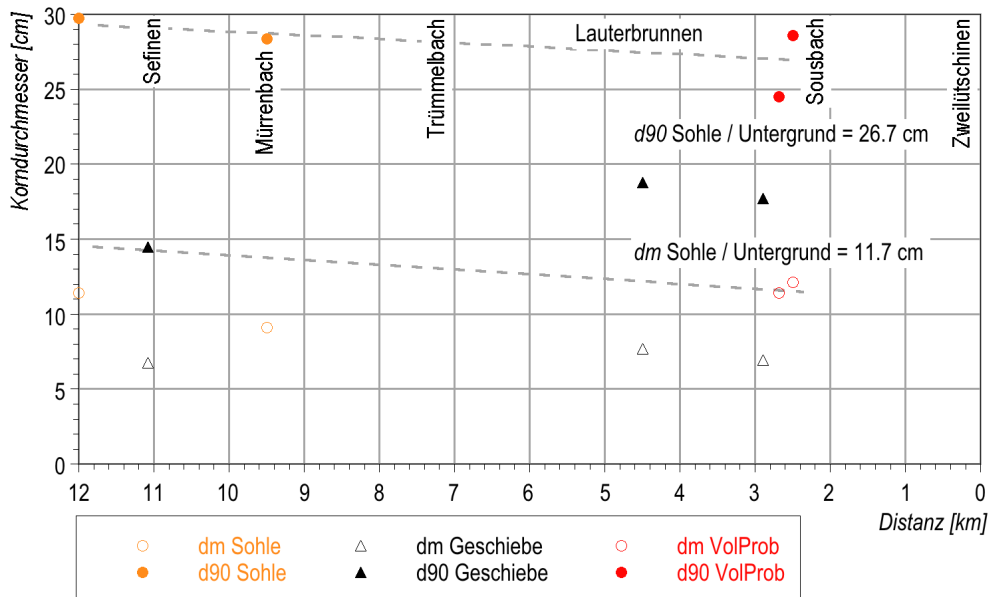


Abbildung 16: Längenprofil der charakteristischen Korngrößen in der Weissen Lüttschine.

Als massgebende Kornverteilung des Untergrundmaterials für den untersuchten Projektabschnitt wurde ein Mittelwert aus den zwei Kornverteilungen der Sohle aus [6] (LZA1 und LZA3) und aus den zwei Volumenproben gebildet. Die Kornverteilungskurven der Sohlen- und Volumenproben sind in der Abbildung 17. Die charakteristischen Korngrößen d_m und d_{90} der genannten Proben sind in der Tabelle 6 aufgelistet.

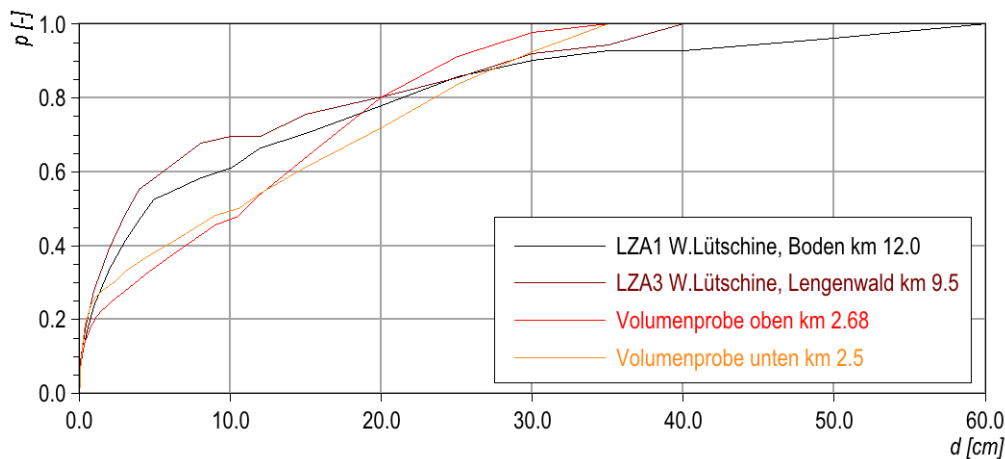


Abbildung 17: Kornverteilungskurven der beiden Volumenproben und den Linienzahlanalysen 1 und 3 aus [6] in der Weissen Lüttschine.

	d_m [cm]	d_{90} [cm]
LZA1 [6]	11.4	29.8
LZA3 [6]	9.1	28.4
Volumenprobe „oben“	11.4	24.5
Volumenprobe „unten“	12.1	28.6
Korngrößen-Mittelwert	11.0	27.6

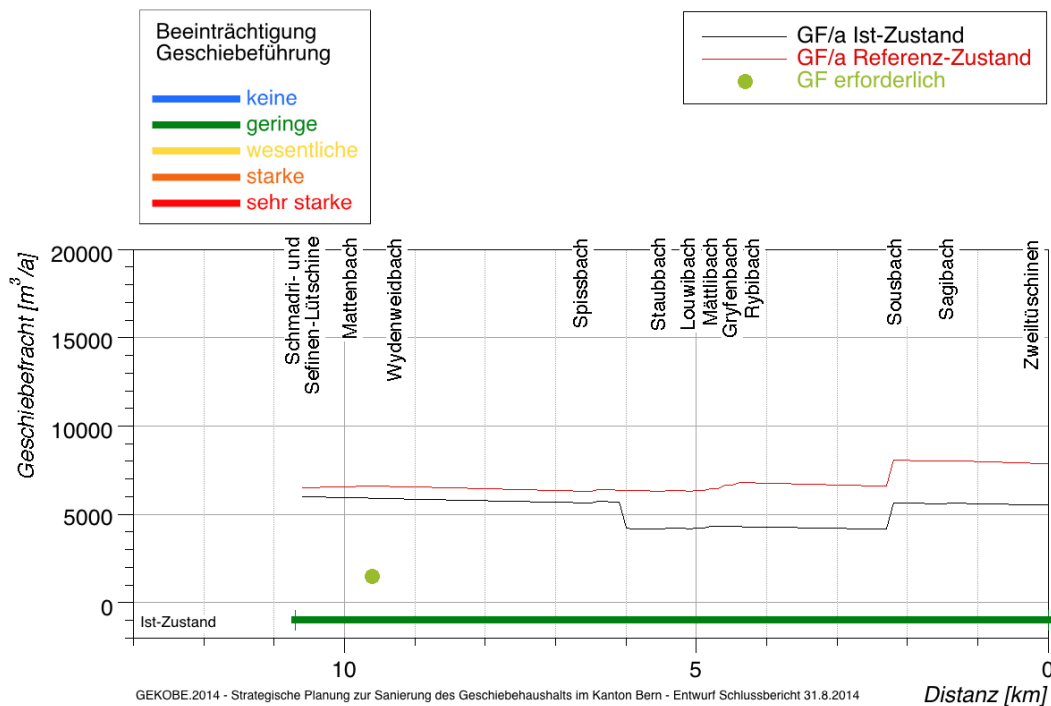
Tabelle 6: Mittelwerte der Kornverteilungen aus Abbildung 17 und Gesamtmittel aus den vier massgebenden Kornverteilungen als charakteristische Korngrößen für den Projektperimeter.

Für die Dimensionierung der neuen Bauten im Projektperimeter wurde der Mittelwert der vier vorhandenen Untergrundmaterial-Proben verwendet.

3.7.2 Geschiebeaufkommen

Im Rahmen der Strategischen Planung zur Sanierung des Geschiebehaushalts im Kanton Bern wurde die jährliche Geschiebefracht im Ist-Zustand ermittelt [4]. Diese beträgt im Projektperimeter oberhalb der Sousbachmündung ca. 4'200 m³/a. Die Beeinträchtigung der Geschiebeführung wird als "gering" eingestuft (Abbildung 18).

Abbildung 18:
Ermittelte jährliche Geschiebefracht im Rahmen der Strategischen Planung zur Sanierung des Geschiebehaushalts im Kanton Bern [4].



Das Geschiebeaufkommen und die Geschiebeganglinien für die verschiedenen Szenarien wurden für die hydraulischen Modellversuche definiert [13]. Für die rechnerische Überprüfung der Ergebnisse aus den hydraulischen Modellversuchen und die Variantenentwicklung wurde kein numerisches Modell erstellt. Entsprechend werden hier auch keine Geschiebeganglinien dokumentiert.

3.7.3 Schwemmholzaufkommen

Schwemmholz hat bisher in der weissen Lutschine eine nur untergeordnete Rolle gespielt. In der Lokalen, lösungsorientierten Ereignisanalyse (LLE) Lutschine [6], welche im Anschluss an das grosse Hochwasser von 2011 ausgearbeitet wurde, ist festgehalten, dass im Einzugsgebiet der Weissen Lutschine infolge des Hochwassers 2011 keine nennenswerten Flächen mit Wald oder Ufergehölz erodiert und nur wenig Schwemmholz mobilisiert wurden. Schwemmholz hatte bei den stattgefundenen Prozessen keine Rolle gespielt. Es sind keine Verklausungen an Brücken oder Wehren aufgetreten.

3.8 Grundwasser

In den Grundwasserkarten des Geoportals des Kantons Bern sind keine Grundwasservorkommen innerhalb des Projektperimeters kartiert. Die nächstgelegenen Grundwasservorkommen werden flussaufwärts oberhalb des Dorfs Lauterbrunnen und flussabwärts in der Schmelzi ca. 1 km oberhalb des Zusammenflusses von weisser und schwarzer Lüttschine vermutet.

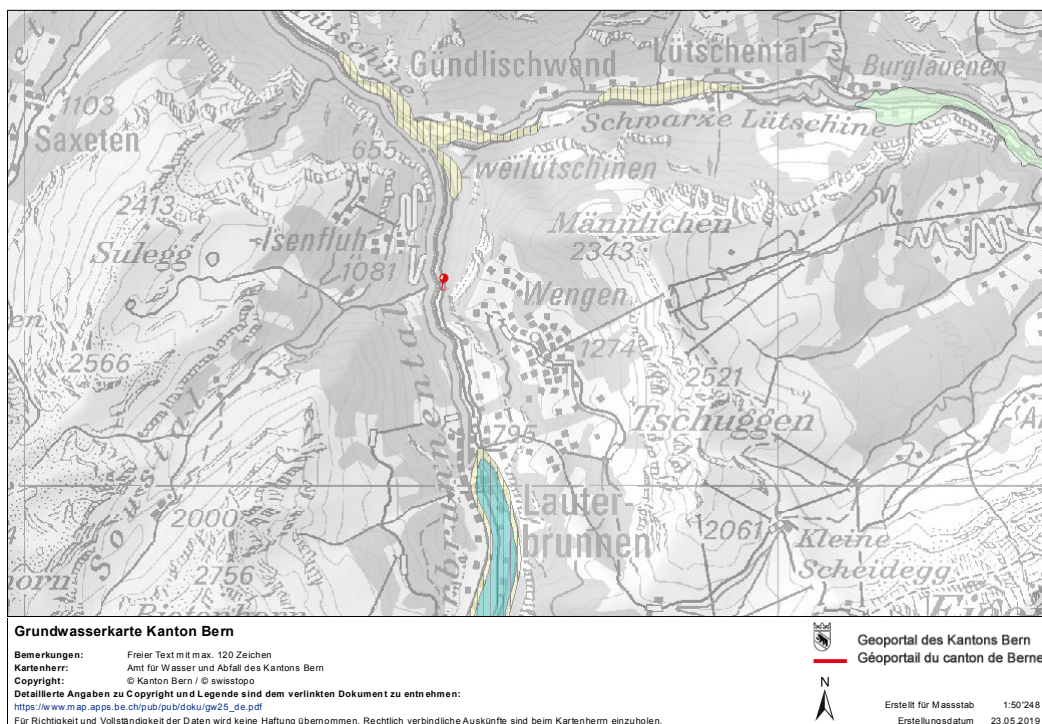


Abbildung 19:
Ausschnitt aus der
Grundwasserkarte des
Kantons Bern [20].

3.9 Schwachstellenanalyse

Die massgebende Schwachstelle innerhalb des Projektperimeters ist das beschädigte Sperrensystem bestehend aus Haupt- und Vorsperre. Die temporär unterspülte Vorsperre wurde mit Sofortmassnahmen provisorisch gesichert. Eine Destabilisierung der Vorsperre führt unmittelbar zur Gefährdung der Hauptsperre. Der Bauzustand der Hauptsperre ist unbekannt.

Der linksseitige Uferverbau zwischen Vorsperre und Mündung Sousbach ist teilweise unterspült. Eine weitere Unterspülung des Uferverbaus kann seitliche Erosionen nach sich ziehen und dadurch die Stabilität des Bahndamms beeinträchtigen.

3.10 Ökologie und Lebensräume

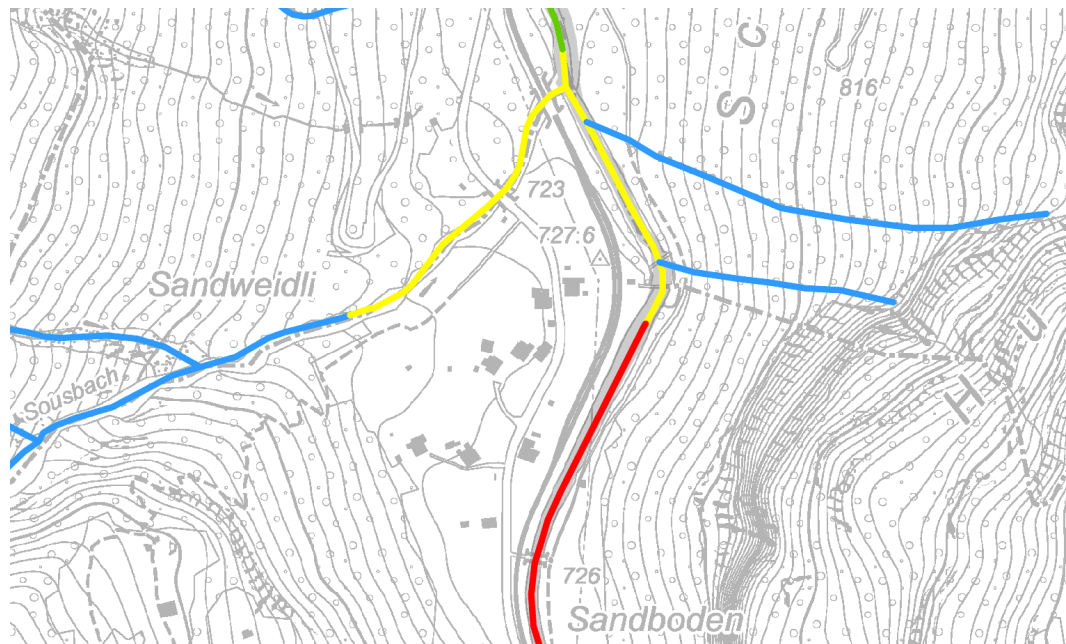
Im Bereich des Sperrensystems Sandweidli finden sich kaum schützenswerte Lebensräume. Die Ufer sind hart und steil verbaut und verhindern so die Quervernetzung. Durch die Hauptsperre mit einer Höhe von rund 6 m wird der natürliche Fischaufstieg unterbunden. Der Betrieb der nach dem Hochwasser 2011 erstellten provisorischen Fischtreppe wird aufgrund des hohen Unterhaltsaufwandes nur temporär aufrechterhalten.

Die Beurteilung mit Ökomorphologie Stufe F ergibt einen Überblick, wie naturnah der Zustand der einzelnen Gewässerabschnitte ist. In Abbildung 20 ist der ökomorphologische Zustand dargestellt [10]. Gemäss dieser Beurteilung wird die Weisse Lüttschine

im Projektabschnitt unterhalb der Sperre als stark beeinträchtigt (gelb) und oberhalb der Sperre als naturfremd/künstlich (rot) eingestuft.

Gemäss Geoportal des Kantons Bern (Stand Januar 2018), weist der Projektperimeter ein Revitalisierungspotenzial mit grossem Nutzen für Natur und Landschaft auf. Entsprechend werden möglichen Revitalisierungsmassnahmen an noch nicht bekannten Teilstrecken für die Periode 2016-2030 eine hohe Priorität zugewiesen.

Abbildung 20:
Ökomorphologischer
Zustand der Weissen
Lütschine bei Sandweidli
[10].



Es wird damit gerechnet, dass sich geschützte Pflanzen im Perimeter ausserhalb des Gerinnes befinden.

3.11 Gewässerraum

Innerhalb des Projektperimeters wurde bisher kein Gewässerraum ausgeschieden. Laut Gewässerschutzgesetz Art. 36a sind die Kantone verpflichtet, den Gewässerraum entlang der Fliessgewässer so festzulegen, dass u.a. die natürlichen Funktionen des Gewässers gewährleistet werden können. Für sogenannte grosse Gewässer (natürliche Sohlenbreite > 15 m) muss der Gewässerraum wie auch der Raumbedarf zur Erfüllung der natürlichen Funktionen im Einzelfall im Rahmen eines Fachgutachtens festgelegt werden. Die minimale Breite des Gewässerraums wird gemäss Wasserbaugesetz (WBG) des Kantons Bern in Art. 5b abs. 2 WBG wie folgt festgelegt:

Bei Fliessgewässern, für die nach Bundesrecht ein Gewässerraum festgelegt werden muss, bei denen aber keine minimale Breite vorgeschrieben ist, beträgt die minimale Breite des Gewässerraums 30 m plus die Breite der bestehenden Gerinnesohle (B_{eff}), jedoch insgesamt mindestens 45 m.

Die mittlere effektive Sohlenbreite innerhalb des Projektperimeters beträgt 10-12 m. Aufgrund der fehlenden Breitenvariabilität des stark beeinträchtigten resp. naturfremden Flusslaufs gehört der Abschnitt der Breitenvariabilitätsklasse 3 und 4 an. Mit dem entsprechenden Breitenfaktor 2 beträgt die natürliche Sohlenbreite 20-24 m. Die Weisse Lütschine gehört damit zu den sogenannten grossen Gewässern.

Die minimal notwendige Gewässerraumbreite im Projektperimeter beträgt somit mindestens 45 m.

Für bestehende Bauten, die vor Festlegung des Gewässerraums rechtmässig bewilligt wurden, besteht Besitzstandsgarantie.

3.12 Landschaft und Schutzgebiete

Die Weisse Lüttschine ist im Bereich Sandweidli von der Strasse aus schlecht bis gar nicht einsehbar. Entlang des rechten Ufers befindet sich ein Wanderweg, welcher auch als Forststrasse genutzt wird. Die Sperre Sandweidli wird vom Wanderweg aus als eindrückliches Bauwerk wahrgenommen. Zusammen mit dem harten Uferverbau und der Fischtreppe wirkt der Abschnitt künstlich und als Fremdkörper in diesem sonst wenig bzw. zurückhaltender verbauten Abschnitt der Weissen Lüttschine.

Der Projektperimeter liegt innerhalb des Gewässerschutzbereichs Au. Ansonsten befinden sich keine Schutzgebiete im Projektperimeter.

3.13 Baugrund

Bei den Instandstellungsarbeiten nach dem Hochwasser 2011 wurde unterhalb der Sperre Bachschutt, bestehend aus einem Gemisch aus Ton bis Kies mit relativ viel Steinen und Blöcken, angetroffen. Diese Baugrundzusammensetzung darf als repräsentativ für den ganzen Perimeter angenommen werden. Es wird davon ausgegangen, dass unmittelbar oberhalb der bestehenden Sperre unter diesem Bachschutt viel Feinmaterial angetroffen wird (Ablagerungen nach Sperrenneubau).

3.14 Projekte Dritter

Unmittelbar oberhalb des Projektperimeters ist der Wasserbauplan Loch-Sandweidli vorgesehen. Dieser Wasserbauplan soll das Hochwasserschutzdefizit im Bereich zwischen dem Ortschaft Loch (nördlich von Lauterbrunnen, km 3.706) und Sandweidli aufheben. Die wichtigste Schnittstelle zu diesem Projekt ist eine eventuelle Sohlenabsenkung im Rahmen des Wasserbauplans. Diese wird im vorliegenden Projekt berücksichtigt (siehe 0).

3.15 Altlasten

Der Kataster belasteter Standorte des Geoportals des Kantons Bern zeigt keine Standorte im Projektperimeter, die belastet sind oder sein könnten.

3.16 Wald

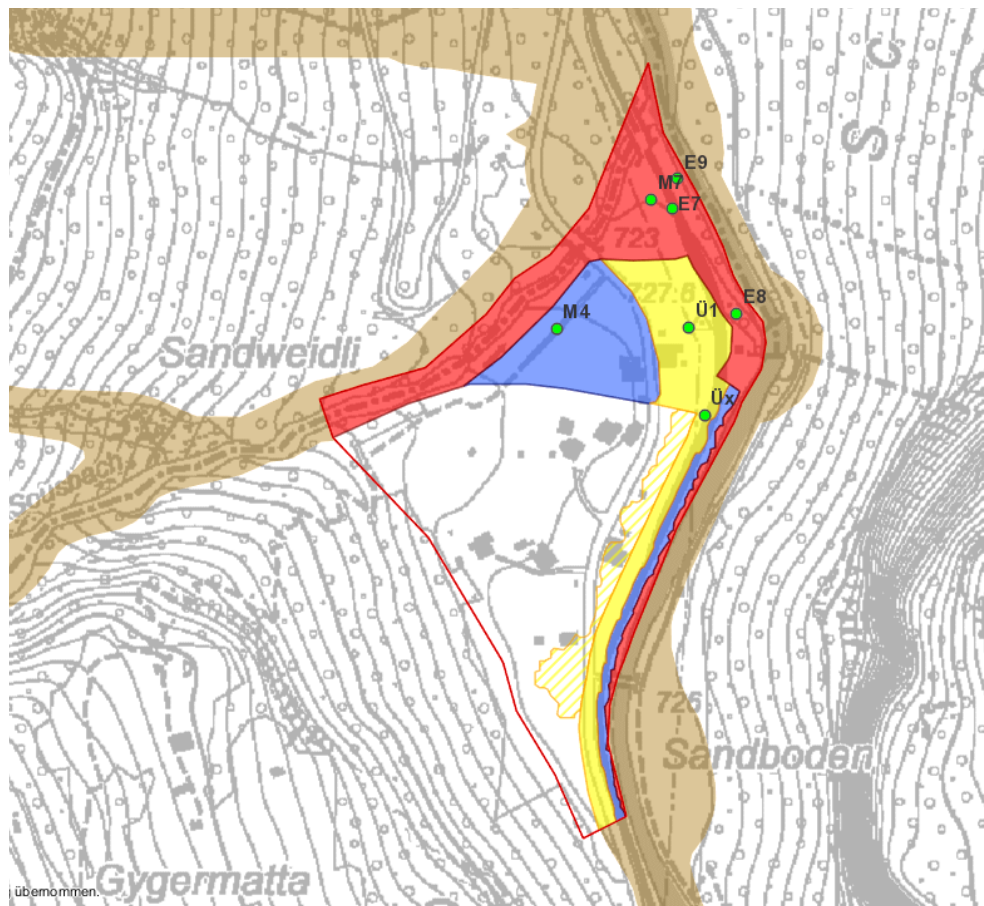
Der Wald im Projektperimeter ist gemäss Schutzwaldhinweiskarte als "Objektschutzwald Bund" inventarisiert. Die beanspruchte Waldfläche ist grösstenteils im Besitz des Kantons Bern und wird vom Staatsforstbetrieb bewirtschaftet.

3.17 Gefährdung / Gefahrenkarte

Während des Hochwasserereignisses vom Oktober 2011 wurde die Vorsperre unterspült und anschliessend provisorisch durch Einbringen von grossen Blöcken wieder gesichert. Der bauliche Zustand der Hauptsperre ist unklar. Ein Versagen des Sperrensystems hätte eine rückschreitende Erosion der Sohle und damit zusammenhängend auch Seitenerosionsprozesse an beiden Ufern zur Folge. Durch diese Prozesse ist insbesondere das Bahntrasse der BOB, welches sich linksufrig der Weissen Lütschine befindet, gefährdet.

In der Naturgefahrenkarte ist Ufererosion mit Naturgefahrenindex 8 (erhebliche Gefährdung) und Überflutungsflächen mit mittlerer und geringer Gefährdung ausgeschieden. Im Sandweidli überlagern sich jedoch die Wassergefahren der Weissen Lütschine und des Sousbachs (vgl. Abbildung 21).

Abbildung 21:
Ausschnitt aus der Naturgefahrenkarte Wassergefahren. Ausschnitt aus [3]; ohne Massstab.



3.18 Weitere Naturgefahren im Projektperimeter

Der Projektabschnitt liegt im Gefahrenhinweisbereich für Sturzgefahren. Im kantonalen Ereigniskataster sind mehrerer Ereignisse mit Stein- und Blockschlag vermerkt [17]. Der Untersuchungsperimeter liegt zudem im Gefahrenhinweisbereich für Rutschgefahren [18].

3.19 Inventar historischer Verkehrswege (IVS)

Die Forststrasse zwischen Zweilütschinen und Sandweidli ist im Inventar historischer Verkehrswege der Schweiz als Strecke von lokaler Bedeutung und mit Substanz aufgeführt und wird dort als Erzweg bezeichnet (Strecke BE 259). Der historische Weg weist diverse schützenswerte Mauerwerke und zwei Hohlwegpassagen auf.

4 Projektannahmen

4.1 Defizite

4.1.1 Hochwasserschutzdefizite

Die Naturgefahrenkarte scheidet innerhalb des Projektperimeters das linke Ufer als erheblich erosionsgefährdet aus (siehe Abschnitt 0). Ausuferungen und Überflutungen stellen nur eine geringere Gefährdung dar. In den betroffenen Überflutungsgebieten sind keine schützenswerten Objekte vorhanden. Die übrigen eingefärbten Gefahrenbereiche sind auf den Soubach zurück zu führen.

Solange die Sperren Sandweidli (Vor- und Hauptsperre) ihre Funktion als Sohlenfixpunkt aufrechterhalten, liegt im Ist-Zustand kein direktes Hochwasserschutzdefizit vor. Sobald die Sperren ihre sohlenstabilisierende Wirkung nicht mehr aufrechterhalten können, ist die Talebene und folglich die BOB-Bahnlinie und die Kantonsstrasse oberhalb der Sperre durch rückschreitende Sohlenerosion und seitliche Ufererosion erheblich gefährdet.

Die Sperren haben ihre Lebensdauer heute erreicht und sind in einen schlechten Zustand. Wie lange die Sperren den Belastungen standhalten und die Sohle fixieren können ist ungewiss.

4.1.2 Ökologische Defizite

Die Sperre Sandweidli verhindert den Fischaufstieg in der Weissen Lutschine. Die in den 1990er-Jahren erstellte Fischtreppe wurde durch das Hochwasserereignis im Jahr 2011 teilweise zerstört. Der Betrieb des daraufhin erstellten Provisoriums wird aufgrund des hohen Unterhaltsaufwandes nur temporär aufrechterhalten.

Die Ufer sind im unmittelbaren Bereich des Sperrensystems beidseitig hart, steil und bis hoch hinauf verbaut.

Die Längs- wie auch die Quervernetzung ist im Bereich des Sperrensystems nicht gewährleistet.

4.2 Projektziele

4.2.1 Schutzziele

Da sich linksufrig der Weissen Lutschine die Bahntrasse der BOB befindet, gilt das HQ_{100} als Schutzziel für Hochwasserschutz und Erosionsprozesse.

4.2.2 Ökologische Entwicklungsziele

Die Lutschine ist eines der beiden wichtigsten Laichgewässer für Seeforellen im Kanton Bern. In der Weissen Lutschine liegen wichtige Laichgebiete in der Talebene von Lauterbrunnen [14]. Die Längsvernetzung, insbesondere der Fischaufstieg, soll für Seeforellen mittlerer Grösse wiederhergestellt werden.

Eine Verbesserung der Quervernetzung mit verhältnismässigem Aufwand ist aus Platzgründen nicht möglich. Die Ufer müssen auch bei einem neuen Verbauungssystem hart und steil verbaut werden.

4.2.3 Weitere Projektziele

Die langfristige Sicherung der Sohle im Oberlauf der heutigen Sperre Sandweidli auf der heutigen Höhe muss gewährleistet werden. Die baulichen Massnahmen sind so zu konzipieren, dass sie am oberen Projektperimeterrand zu einem späteren Zeitpunkt an eventuelle Sohlenlageänderungen im Rahmen des anstehenden Hochwasserschutzprojektes 'Loch-Sandweidli' angeglichen werden können.

4.3 Dimensionierungsgrössen

4.3.1 Abfluss

Als Dimensionierungshochwasser Q_{dim} für die Bemessung der Schutzbauten wird das $HQ_{100} = 98 \text{ m}^3/\text{s}$ berücksichtigt (vgl. Tabelle 5). Bezüglich Überflutung des Umlands, insbesondere im Oberlauf des neuen Bauwerks, darf die Situation nicht so verändert werden, dass Schutzziele verletzt werden.

4.3.2 Korngrössen

Für die Dimensionierung wurde aus den verschiedenen vorliegenden Linienzahl- und Volumenproben der Mittelwert der charakteristischen Korngrössen verwendet (Tabelle 7).

Tabelle 7:
Für die Dimensionierung
verwendete gemittelte
charakteristische Korn-
grössen.

	Durchmesser [cm]
d_m	11.0
d_{90}	27.6

4.3.3 Geschiebetrieb

Begleitend zu den hydraulischen Modellversuchen an der Hochschule für Technik Rapperswil wurde der Geschiebetrieb im Oberlauf der Schwelle Sandweidli anhand von Normalabflussrechnungen abgeschätzt. Die maximale Geschiebefracht während eines 100-jährlichen Hochwasserereignisses wurde dabei auf rund 330 kg/s geschätzt. Diese max. Fracht liegt zwar ausserhalb der Anwendungsgrenzen der Formel für die Kolkberechnung im Traversensystem, ist aber nicht massgebend für die Dimensionierung der Traversen. Entscheidend sind vielmehr grosse Abflüsse mit wenig Geschiebetransport, welche zu grossen Kolkungen zwischen den Traversen führen können. Entsprechend wurde für die Dimensionierung des Traversensystems ein Geschiebetriebszenario berücksichtigt welches davon ausgeht, dass das transportierte Geschiebe unmittelbar im Oberwasser der Sperre aufgrund z.B. einer Verklausung des Stegs zurückgehalten wird. Die Kolke wurden für eine relativ geringe Geschiebefracht von 0.001 t/sm' bzw. 14 kg/s berechnet (konservative Betrachtung).

5 Variantenstudium und Entscheid Stufe Vorprojekt

5.1 Varianten

Folgende Massnahmen wurden geprüft:

Variante 1: "Nullvariante"/Instandstellung

Der heutige Zustand wird beibehalten und falls notwendig mit baulichen Massnahmen gesichert. Die Längsvernetzung wird mittels des bestehenden Fischaufstiegs sichergestellt.

Variante 2/3: Gesetzte Blockrampe (lang/kurz)

Ausgehend von einem gesicherten Rampenfuss verläuft die Rampe bis oberstrom der Hauptsperre. Die untere Vorsperre wird überdeckt und übernimmt keine Funktion mehr. Die Sperrenkrone der Hauptsperre wird abgesenkt und durch die Rampe ebenfalls überdeckt. Das Bauwerk wird dadurch resistenter bei einer Überlastung des Systems. Die eingedeckte Hauptsperre dient als Rückversicherung im Falle von unerwarteten Extremereignissen. Die Längsvernetzung wird durch Niederwasserrinnen auf der Rampe sichergestellt.

Variante 4: Traversensystem

Die Sohle wird durch in regelmässigen Abständen angeordneten Querriegel fixiert. Die Querriegel geben den Verlauf der Niederwasserrinne vor und gewährleisten dadurch die Längsvernetzung. Sowohl die Vor- als auch die Hauptsperre werden rückgebaut.

Variante 5: Stufen-Becken-Gerinne

Es werden grosse Blöcke (3-20t) in die Sohle eingebaut, damit sich eine Stufen-Becken-Struktur natürlicherweise nach Oberstrom nachbildet. Dieses Konzept ist mit grossen Unsicherheiten verbunden, so dass eine Modellversuche zum Machbarkeitsnachweis notwendig ist. Diese Variante ist analog zum Traversensystem, ausser dass es sich natürlicherweise bilden soll statt künstlich befestigt wird.

Variante 6: Kombi Blockrampe und Stufen-Becken

Diese Variante ist eine Kombination: oberhalb der Kurve wird eine Blockrampe mit 7% Gefälle gebaut, unterhalb ein natürliches Stufen-Becken-Gerinne. Der Übergang wird mit einem starren Querbauwerk (Betonriegel) fixiert.

Frühzeitig verworfene Variante: Aufgelöste Blockrampe

Analog zur gesetzten Blockrampe werden die Vorsperre und die abgesenkte Hauptsperrenkrone eingedeckt. Eine aufgelöste Blockrampe wird mit unregelmässig verteilten Blöcken gesichert, weist ein deutlich flacheres Gefälle auf und garantiert damit eine zuverlässigere Längsvernetzung.

Eine Grobkostenabschätzung (Genauigkeit +/- 25%) der Varianten ergab Kosten in der Grössenordnung von 2.45 bis 4.9 Mio. CHF (vgl. Anhang A). Als kostengünstigste Variante erwies sich Variante 1 (Instandstellung). Die Varianten mit Blockrampen fielen im Vergleich zu den übrigen Varianten deutlich teurer aus.

5.2 Variantenbewertung (Nutzwertanalyse)

Die Varianten wurden mittels einer Nutzwertanalyse bewertet (vgl. Anhang B). Die Nutzwertanalyse wurde in vier Hauptbewertungskriterien mit unterschiedlichen Untereinheiten unterteilt. Die Bewertungskriterien wurden entsprechend ihrer Relevanz gewichtet. Die Hauptkriterien (und ihre Gewichtung) waren: Hochwasserschutz / Technische Aspekte (35%), Umwelt (30%), Wirtschaftlichkeit (25%) und Gesellschaft / Akzeptanz

(10%). Wesentliche Bewertungskriterien als Unterziele waren die Systemsicherheit bei Überlast, Gesamtkosten, Fischdurchgängigkeit und Anpassungsfähigkeit am Oberliegerprojekt. Mit Hilfe einer Bewertungsskala (1: sehr schlecht, 5: sehr gut) wurden sämtliche Unterziele jeder Variante bewertet und unter Berücksichtigung der Gewichtung ein Nutzwertpunkt berechnet. Der Nutzwert jeder Variante ergibt sich aus der Summe aller Nutzwertpunkte. Dieser variiert zwischen 2.4 (lange Blockrampe) und 3.9 (Traversensystem). Die Varianten wurden entsprechend ihres erreichten Nutzwertes rangiert.

Die Varianten '1) Instandstellung', '4) Traversensystem' und '5) Stufen-Becken Gerinne' wurden gesamthaft besser bewertet als die übrigen Varianten. Im Zuge einer Sensitivitätsbetrachtung wurde die Gewichtung der Hauptkriterien variiert. Eine Variation der Gewichtungen hatte auf die Rangierung der Varianten keinen wesentlichen Einfluss. In allen Kombinationen lagen die Varianten 4) 'Traversensystem' und 5) 'Stufen-Becken Gerinne' auf den bestklassierten Rängen 1 und 2. Die Variante '1) Instandstellung' lag immer an 2. oder 3. Stelle.

5.3 Bestvariante und Variantenentscheid

An der Sitzung vom 10. September 2015 wurde entschieden, die Varianten '1) Instandstellung' und '2) Blockrampe lang' für die weitere Planung auszuschliessen. Favorisiert wurde Variante 5) 'Stufen-Becken-Gerinne'. Sofern Vorabklärungen die grundsätzliche Machbarkeit dieser Variante bestätigen, waren physikalische Modellversuche vorgesehen. Sollte sich in den Modellversuchen zeigen, dass Variante 5) nicht umsetzbar ist, sollten im Modell Variante 6) 'Kombi Blockrampe und Stufen-Becken' oder eine Mischform zwischen Stufen-Becken-Gerinne und Traversensystem geprüft werden.

Als Alternativvariante sollte auf ein klassisches Traversensystem zurückgegriffen werden.

Mit der favorisierten Variante "Stufen-Becken-Gerinne" wurde ein auf die Längsvernetzung optimiertes und gleichzeitig hochwasserresistentes System angestrebt. Da für Stufen-Becken-Gerinne kaum Dimensionierungsansätze vorliegen, das Bruttogefälle an der oberen Grenze des Möglichen liegen wird, der massgebende Gerinneabschnitt unterhalb einer Kurve liegt und am unteren Ende zudem in eine Kurve übergeht, ist eine Planung ohne physikalische Modellversuche nicht vertretbar. Mit numerischen Modellen können derartige, künstlich erstellte Stufen-Becken-Gerinne nicht ausreichend gut abgebildet werden. Es wurden Modellversuche im Labor des Instituts für Bau und Umwelt der Hochschule für Technik Rapperswil durchgeführt (vgl. Kapitel 6).

6 Hydraulische Modellversuche

6.1 Ziel der Versuche

Mit den hydraulischen Modellversuchen sollte die Machbarkeit eines Stufen-Becken-Gerinnes in Bezug auf die Gewährleistung der Sohlenstabilität und Anforderungen an die ökologische Längsvernetzung für den Projektperimeter nachgewiesen werden. Mit Hilfe von Versuchen einer natürlichen Bildung von Stufen-Becken-Sequenzen für die gegebenen hydraulischen Bedingungen sollten die Grundlagen geschaffen werden, um den Einbau künstlicher Stufen-Becken-Sequenzen durch Anordnung von Blockgruppen zu dimensionieren. Solche Einbauten sollten in einem zweiten Schritt geprüft werden. Bei unzuverlässigem Systemverhalten sollte aufgezeigt werden, inwiefern ein Stufen-Becken-Gerinne zur Erreichung der Ziele mit starren Traverseneinbauten stabilisiert werden kann. Mit dem Modell wurden auch die ethohydraulischen Grundlagen zusammengestellt, um die Fischdurchgängigkeit durch Fischbiologen im Rahmen einer Expertise beurteilen zu lassen [14].

Die Modellversuche lehnen sich an die wissenschaftlichen Arbeiten von Weichert an [11]. Es wurden ähnliche Ziele wie bei der Untersuchung für den Betelriedgraben im Simmental verfolgt [12].

6.2 Resultate der Hauptversuche

Der Modellaufbau, die Modellversuche und die Ergebnisse sind in einem umfassenden Bericht dokumentiert [13]. Die wichtigsten Resultate werden in den folgenden Abschnitten zusammengefasst.

In einer ersten Phase wurde geprüft, ob und wie sich auf natürliche Weise Stufen-Becken-Sequenzen für die vorhandenen Randbedingungen einstellen würden. Dazu wurde das heute anstehenden Material durch Beigabe grober Komponenten und Blöcke gemischt. Es zeigte sich, dass das Verhalten der Sohle stark durch die Kurvensituation geprägt ist. Die grössten Blöcke formierten sich zwar teilweise zu riegelartigen Konstrukten zusammen und bildeten eine Art Stufen-Becken-Sequenzen. Das System blieb aber insbesondere unter dem Einfluss des Geschiebetransports und der Kurvensituation instabil. Die hydraulischen Bedingungen erlauben keine Stabilisierung der Sohle alleine durch unregelmässig angeordnete kleinere Blockgruppen aus Blockgrössen, die wirtschaftliche transportier- und einbaubar sind. Dies dürfte hauptsächlich auch auf die verhältnismässig grosse Gerinnebreite zurückzuführen sein.

In einer zweiten Phase wurde deshalb gleich der Einbau von Blockriegeln über die ganze Gerinnebreite geprüft (Abbildung 22). Der Riegelabstand orientierte sich an einem mittleren Stufenabstand, der sich in der ersten Phase eingestellt hat. Die Riegel setzten sich aus zwei übereinanderliegenden, gesetzten Blockreihen zusammen, wobei die obere Lage an die untere Lage anliegt und wenig stromaufwärts versetzt ist. Die Riegel wurden schrittweise hinsichtlich Stabilität und Wirtschaftlichkeit optimiert. Die Riegel sollten leicht gebogen mit der konkaven Seite flussabwärts gerichtet sein, unterhalb ein flächiger Kolkenschutz und oberhalb ein flächiger Erosionsschutz aufweisen. Auch mit der optimierten Bauweise wurden in den unterschiedlichen Versuchen immer wieder lokale Schäden beobachtet, die ohne Eingriffe in kollapsartigem Versagen des Traversensystem endeten. Die Schäden entstanden meist durch Mobilisierung einzelner grossen Blöcke, und führten folglich zu Strömungskonzentrationen und weiteren Schäden.

Die auch beim optimierten System immer wieder auftretenden Schäden und Risiken für ein kollapsartiges Versagen sowie das hohe Schadenpotenzial der angrenzenden Infrastrukturbauten führten zur Empfehlung, die Blockriegel und Böschungen durch

Hinterbeton zu befestigen. Dadurch kann gleichzeitig Grösse und Gewicht der einzelnen Blöcke reduziert werden und, bei genügend tiefer Foundation, auf flächige Erosions- und Kolkschutzeinbauten verzichtet werden. Ohne derartige flächige Einbauten wird Fischen das Überwinden der Riegel erleichtert, denn diese sind auf Kolke resp. minimale Abflusstiefen ober- und unterhalb der Riegel angewiesen. Gleichzeitig erlaubt die Fixierung in Hinterbeton eine freiere, fischgerechte Gestaltung von Niederwasserrinnen mit minimalen Wasserspiegeldifferenzen und ermöglicht, die hohen Anforderungen an die Fischgängigkeit zu erfüllen.

Abbildung 22:
Modellversuch bei Niederwasser (nach Durchgang eines Extremhochwassers). Versuch A2_03.1_HQ300G. Foto: HSR.



Im Nachgang an die eigentlichen Modellversuche wurden an der optimierten Riegelbauweise zusätzliche Untersuchungen zu ethohydraulischen Fragestellungen in Begleitung von Fachspezialisten durchgeführt (Beilage 2.6). Aufgrund der Untersuchung wird empfohlen, Strukturen einzubauen, welche bis zu einem Abfluss von $10 \text{ m}^3/\text{s}$ Strömungsschatten schaffen, in dem sich die wandernden Seeforellen ausruhen können. Im Optimalfall geschieht dies durch den Einbau eines grösseren Blocks in jeden Querriegel, so dass die strömungsberuhigte Zone im Kolk unterhalb des Querriegels zu liegen kommt. Und da durch die bauliche Ausführung des Projekts sehr positiv auf die Überwindbarkeit eingewirkt werden kann, sei es durch den Einbau von Blöcken, sei es durch die Ausgestaltung der Lücken in den Querriegeln, ist eine ökologische Begleitung bei der Projektierung sowie beim Bau empfohlen. Zuletzt sollte mit Hilfe einer Erfolgskontrolle geprüft werden, ob Seeforellen die Riegelabfolge effektiv passieren können.

6.3 Fazit Modellversuche

Die Modellversuche waren hilfreich um zu erkennen, dass die favorisierte Variante "Stufen-Becken-Gerinne" alleine durch gruppierte Anordnung grosser Blöcke und Beimischung von grobem Material nicht umsetzbar ist, und dass die einzelnen Riegel eines Traversensystems vorzüglich in Hinterbeton ausgeführt werden sollten. Die geometrischen Randbedingungen (hohes Gefälle, rel. grosse Sohlenbreite, Kurvensituation ober- und unterhalb der Stufen) sowie der Geschiebetransport führen zu hohen Strömungskonzentrationen und dadurch immer wieder zu Umstrukturierungen des Systems oder Beschädigungen von einzelnen Riegel. Mit den Modellversuchen konnte in

der Folge eine optimierte Bauweise der einzelnen Traversen eruiert und hinsichtlich ethohydraulischer Fragestellungen geprüft werden. Letztere Untersuchung zeigt auf, dass trotz grossem Bruttogefälle und weiten Riegelabständen mit einer geschickten Blockanordnung die effektiven Aufstiegshöhen für Fische auf ein notwendiges Mass reduziert werden können. Forellen sollen in meisten betrachteten Fällen dank den Aufstieglücken die Schwellen überwinden können, sie brauchen aber Ruhezone zwischen den Schwellen.

7 Projektbeschreibung

7.1 Variantenstudium und Entscheide Stufe Bauprojekt

Aus den hydraulischen Modellversuchen wurde geschlossen, dass eine selbstständige Bildung eines stabilen Stufen-Becken-Systems eher unwahrscheinlich ist. Das daraufhin geprüfte Traversensystem hat sich als Verbauungstyp in der Lutschine bei Sandweidli viel besser bewährt, jedoch konnte auch hier mit dem im Modell geprüften Design keine absolute Stabilität jeder einzelnen Stufe erzeugt werden. Aus diesem Grund wurde das im Modell eingebaute Traversensystem wie auch weitere Varianten rechnerisch überprüft und optimiert. Die wichtigsten Parameter der optimalsten Variantenkombinationen sind in der folgenden Tabelle 8 aufgelistet.

Bezeichnung	Sohlenbreite [m]	Traversenabstand [m]	Anzahl Schwellen	max. Schwellenhöhe [m]	Bemerkung
Variante I	12	16	11	0.93	alle Schwellen in Hinterbeton
Variante II	14	14	12	0.85	alle Schwellen in Hinterbeton
Variante III	16	12	14	0.73	alle Schwellen in Hinterbeton
Modell	12	14		0.85	Modellversuche HSR

Tabelle 8:
Wichtigste Parameter der
Traversensystem-
Varianten I bis III.

Variante I

In der Variante I wird ein System mit einem Traversenabstand von 16 m bei einer Sohlenbreite von 12 m betrachtet (Breite entspricht ca. heutigem Zustand). Bei dieser Sohlenbreite ist ein minimaler Schwellenabstand von 16 m notwendig. Werden die Schwellen näher gebaut, ist bei einer Belastung mit dem Dimensionierungshochwasser mit einem Durchschlagen der Traversenkolke zu rechnen. Die theoretisch Absturzhöhe beträgt bei einem Abstand von 16 m durchschnittlich 93 cm (ohne Nettofälle zwischen den Schwellen).

Variante II

Die Sohlenbreite in der Variante II beträgt 14 m bei einem Traversenabstand von 14 m. Die theoretisch Absturzhöhe beträgt rund 85 cm, dabei ist das Nettofälle zwischen den Schwellen nicht berücksichtigt.

Variante III

In der Variante III ist das Ziel, die Schwellenhöhe möglichst klein zu halten. Dies ist nur durch einen kürzeren Traversenabstand zu erreichen. Der Schwellenabstand in der Variante III beträgt 12 m, die maximale Schwellenhöhe 73 cm. Um die hydraulische Belastung auf die Traversen bzw. die Sohle zu verringern, wird die Sohle in der Variante III auf 16 m verbreitert.

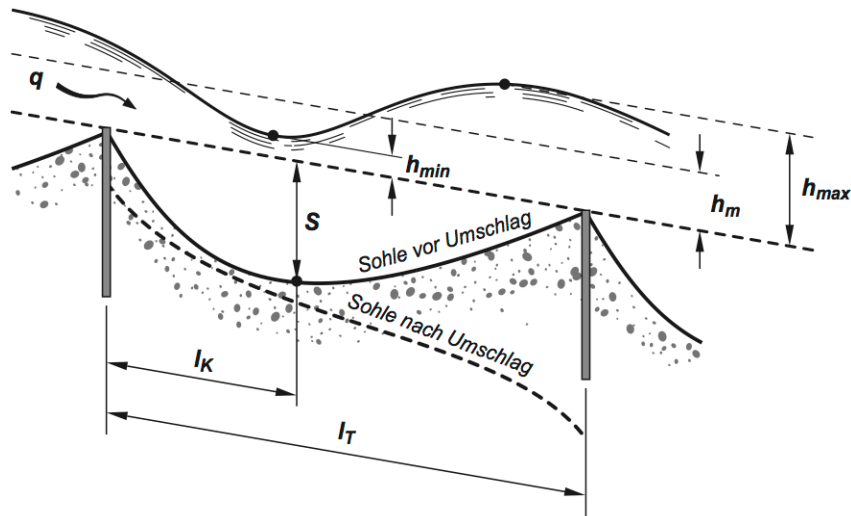
In allen drei Varianten sollen die Blöcke der Traversen in Hinterbeton versetzt werden. Durch diese Massnahme lassen sich einfacher Niederwasserrinnen für den Fischaufstieg gestalten. Zudem wird die Stabilität der Traversen verbessert.

Im Folgenden sind die rechnerischen Nachweise zu den verschiedenen Varianten aufgeführt.

Hydraulische Nachweise Variantenstudium

Die Traversen wurden nach Volkart (1972) [15] bemessen. Besonderes Augenmerk gilt dem sogenannten Umschlagen des Kolkes. Die Schwellen können durch den Kolk der oberen Schwelle unterspült werden. Man spricht dann von einem Umschlagen des Kolkes. Ein möglicher Verlauf der Sohle nach dem Umschlagen des Kolkes ist in der Abbildung 23 skizziert.

Abbildung 23:
Skizze zweier Schwellen
eines Traversensystems
mit dem Sohlenverlauf
vor und nach dem Um-
schlagen des Kolks.
Skizze aus [1].



Mit den Verhältnissen, wie sie an der Weissen Lüttschine im Sandweidli vorliegen, reagiert das System sehr sensitiv auf die charakteristische Korngrösse d_{90} . Für jede Variante wurde für zwei unterschiedliche d_{90} die Sicherheit gegen Umschlagen wie auch die Kolkentiefe geprüft. Im einen Fall berücksichtigt das d_{90} den Mittelwert verschiedener Kornverteilungsanalysen des Untergrundmaterials. Dieser Mittelwert wird als Dimensionierungsgrundlage für den Projektperimeter verwendet ($d_{90} = 0.276$ m). Im zweiten Fall, als Vergleichswert, wird für das d_{90} der kleinste Wert aller vorliegenden Kornverteilungsanalysen beigezogen. Dieser kleinste Wert kommt aus der unteren Volumenprobe, welche rund 200 m oberhalb der bestehenden Sperre entnommen wurde ($d_{90} = 0.245$ m).

Die wichtigsten Eingabeparameter und errechneten Ergebnisse der geprüften Varianten im Rahmen des Bauprojekts mit den Schwellenabständen und Sohlenbreiten von 12, 14 und 16 m sind in der folgenden Tabelle 9 aufgeführt.

Tabelle 9:
Wichtigste Eingabepa-
rameter und Ergebnisse der
berechneten Traversen-
system-Varianten
($Q = 98$ m³/s).

Variante	Sohlen- breite	Böschungs- neigung	Schwellen- abstand l_T	Stufen- höhe	d_{90}	Sicherheit gegen Umschlagen	Kolk S mit Geschiebe	v_m	h_{max}
	[m]	[°]	[m]	[m]	[m]		[m]	[m/s]	[m]
Var. I	12	39	16	0.73	0.276	1.15	1.27	3.51	2.10
					0.245	1.06	1.11	3.39	2.17
Var. II	14	50	14	0.85	0.276	1.13	1.31	3.48	1.98
					0.245	1.03	1.19	3.35	2.05
Var. III	16	60	12	0.93	0.276	1.11	1.28	3.43	1.84
					0.245	1.01	1.21	3.31	1.90
Modell	12	39	14	0.85	0.276	1.06	1.36	3.50	2.11
					0.245	0.97	1.24	3.38	2.17
Var. IV	14	60	14	0.85	0.276	1.11	1.32	3.49	2.04
					0.245	1.01	1.21	3.36	2.11

Bei einer Kombination von Sohlenbreite (12 m) und Schwellenabstand (14 m) wie sie im Modell eingebaut war, ist die rechnerische Sicherheit gegen Umschlagen nicht gegeben, wenn die Zusammensetzung des Sohlenmaterials etwas feiner ist bzw. die charakteristische Korngrösse $d_{90} = 0.245$ m beträgt. Dies dürfte eine Erklärung dafür sein, weshalb in den Modellversuchen immer wieder Erosionsschutzmassnahmen

oberhalb der Riegel eingebaut werden mussten. Der Kolk erstreckte sich jeweils bis zum unteren Riegel; ein effektives Durchschlagen wurde im Modell allerdings nie beobachtet (vgl. Kapitel 6).

Bei den übrigen Szenarien ist die Sicherheit gegen Umschlagen des Kolkes jeweils gegeben. Bei einem etwas grösseren Schwellenabstand von 16 m ist die Sicherheit gegen Umschlagen gut gegeben, auch wenn das Sohlenmaterial etwas feiner ist.

Verworfenne Varianten

Ebenfalls überprüft wurde eine Variante mit 14 m Sohlenbreite und einem Traversenabstand von 12 m. Da bei diesem Traversenabstand beim Dimensionierungsabfluss mit einem Versagen des Systems wegen Umschlagen des Kolkes gerechnet werden muss, wurde ein System mit sogenannten Verschleisstraversen geprüft. Das heisst, dass nur jede zweite Schwelle mit Blöcken in Hinterbeton erstellt werden soll. Die Schwellen dazwischen würden ohne Hinterbeton gebaut und dienen somit als gezielte Schwachstellen im System, welche bereits bei kleineren Abflüssen als Q_{Dim} versagen und so einen kompletten Systemkollaps verhindern sollen. Die Berechnungen haben ergeben, dass ab einem 30-jährlichen Hochwasserereignis ($Q = 85 \text{ m}^3/\text{s}$) mit dem Versagen der Verschleissperren gerechnet werden müsste. Haben die Verschleisstraversen versagt, verbleiben die in Hinterbeton erstellten Traversen mit einem Schwellenabstand von 24 m. Die maximale Schwellenhöhe wäre dann 1.46 m.

Diese Variante (Sohlenbreite = 14 m / Traversenabstand = 12 m) wurde verworfen, da nach einem Versagen der Verschleisstraversen der Fischaufstieg möglicherweise stark erschwert oder gar verunmöglicht würde. Eine Instandstellung der Verschleisstraversen nach einem Versagen wäre mit sehr grossem Aufwand und Kosten verbunden, da hierzu mit schweren Baumaschinen in den schwer zugänglichen Gewässerabschnitt gelangt werden müsste und allenfalls auch viele neue Blöcke eingebracht werden müssten. Zudem müsste geklärt werden, wer die Finanzierung dieser Instandstellung übernehmen würde.

Diskussion

Die Varianten I bis III wurden anlässlich der Begehung vom 23.05.2017 den kantonalen Fachstellen und der BOB vorgestellt und in dieser Runde diskutiert. Die BOB weist darauf hin, dass bei einer Gerinneverbreiterung nach links, also in Richtung des Bahntrassees, mit aufwändigen bodenstabilisierenden Massnahmen und entsprechendem finanziellen Aufwand zu rechnen ist. Aus Sicht der Fischdurchgängigkeit ist ein kleiner Traversenabstand und damit eine minimale Stufenhöhe wünschenswert.

Mit einer grösseren Sohlenbreite (16 m) wird die spezifische Belastung von Sohle und Ufer geringer und der Traversenabstand kann reduziert werden, was geringere Stufenhöhe ermöglicht. Zugleich ist aus Platzgründen aber ein aufwändigerer Uferverbau notwendig (Unterfangung Bahndamm, steile Hangflanke rechtsseitig).

Mit einer reduzierten Sohlenbreite (12 m) gestaltet sich der Uferverbau weniger aufwändig resp. es können allenfalls flachere Böschungen ausgebildet werden, weil mehr Platz zur Verfügung steht. Die spezifische Belastung von Sohle und Ufer hingegen wird grösser und der Stufenabstand muss vergrössert werden, was grössere Stufenhöhen zur Folge hat. Die maximale Sohlenbreite wird aus Platzgründen, der maximale Stufenabstand aus Längsnetzungsgründen limitiert.

Entscheid

Aufgrund der hohen hydraulischen Belastung, der Sensitivität des Systems auf die Korndurchmesser des Sohlenmaterials und aus Platzgründen wurde empfohlen, die Variante II, Traversensystem mit einem Schwellenabstand und Sohlenbreite von je

14 m, umzusetzen, und gleichzeitig die Ufer mit 60° etwas steiler ausführen (-> Var. IV). Dadurch ist eine sinnvolle Kompromisslösung zwischen Sohlenbreite und Stufenabstand/-höhe gefunden, damit eine genügende Sicherheit gegen Umschlagen des Kolkes vorliegt. Die Schwellen werden aus Blöcken erstellt, welche in Hinterbeton versetzt werden.

7.2 Hydraulische Nachweise

Im Folgenden werden die hydraulischen Nachweise für die Traversensystem-Variante IV (Tabelle 9) mit einem Traversenabstand und Sohlenbreite von je 14 m und einer Böschungsneigung von beidseitig 60° erläutert.

7.2.1 Traversensystem

Die Sicherheit gegen Umschlagen des Kolkes reagiert im Traversensystem gemäss Volkart (1972) [15] sehr sensitiv auf die charakteristische Korngrösse d_{90} . Für einen mittleren charakteristische Korndurchmesser d_{90} von 0.28 m liegt die Sicherheit bei 1.1, für feineres anstehendes Material darunter (Tabelle 9).

7.2.2 Abflusstiefen

Die maximale Abflusstiefe über den Schwellen beträgt gemäss Traversenberechnung nach Volkart (1972) [15] rund 2.1 m. Die Kurvenüberhöhung des Wasserspiegels ist in der Traversenberechnung nicht berücksichtigt. Sie lässt sich aufgrund des unebenen Untergrunds (Traversen) und dem damit zusammenhängenden stark gewellten Abfluss nicht mit den gängigen Formeln ermitteln.

7.2.3 Traversenkolk

Gemäss Berechnung nach Volkart (1972) unter Berücksichtigung einer minimalen Geschiebefracht von 0.001 t/(sm') (vgl. Kapitel 4.3.3) erreicht die Tiefe des Traversenkolks 1.2 bis 1.3 m (Tabelle 9, konservative Annahme). Bei geschiebelosem Abfluss können Kolkiefen von bis zu 2.3 m auftreten.

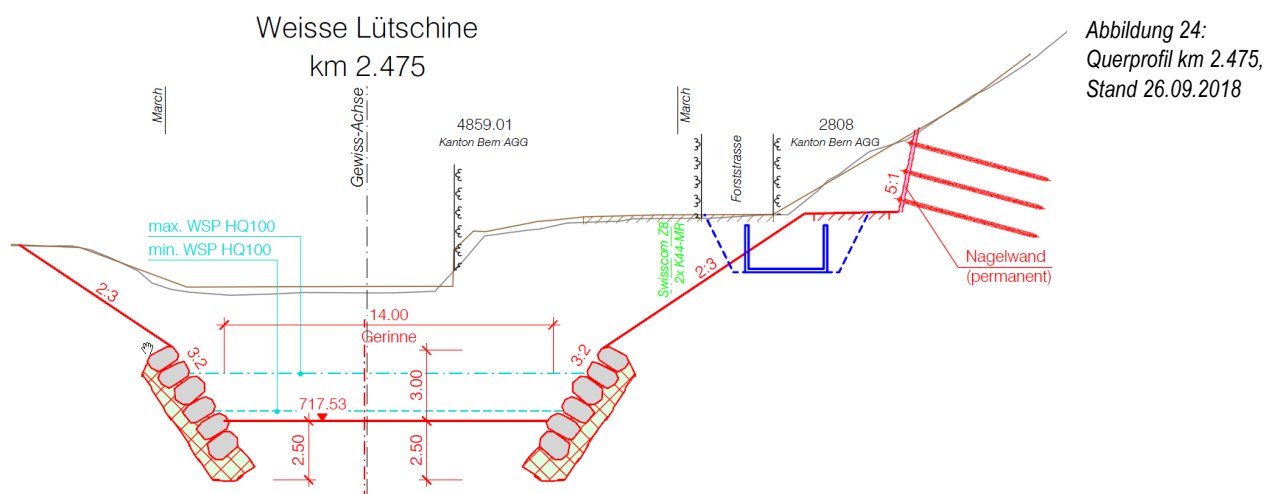
Die minimale Geschiebefracht von 0.001 t/(sm') wird als konservative Annahme eingesetzt. Auch im Fall eines Geschieberückhaltes im Oberlauf, beispielsweise aufgrund einer Verklausung, wird davon ausgegangen, dass eine minimale Menge an Geschiebe in den Projektperimeter eingetragen wird. Ein ganz geschiebeloser Abfluss wird aufgrund der beweglichen Sohle im Oberlauf ausgeschlossen.

7.2.4 Kurvenkolk

In Kurvenbereichen kann die effektive Kolktiefe zwischen den Traversen und im Uferbereich infolge Querströmungen grösser ausfallen als es die Ansätze für gerade Gerinne prognostizieren. Da keine geeigneten Berechnungsansätze für Kurvenkolke in einem Traversensystem vorliegen, sind entsprechende Sicherheitszuschläge zu berücksichtigen.

7.2.5 Freibord

Die Abflusstiefe oberhalb der ersten Traverse beträgt gemäss Normalabflussrechnungen zwischen 1.9 und 2.0 m (Sohlenbreite von ca. 12 m auf 14 m verbreiternd), die Fliessgeschwindigkeit beläuft sich auf 3.4 – 3.6 m/s. Das minimale Freibord nach KOHS [19] beträgt in der Zulaufstrecke auf die erste Traverse für eine Situation im Einschnitt 0.3 m (rechtes Ufer) und für eine Dammsituation 0.7 m (linkes Ufer). Die Freibordbedingungen werden eingehalten (Abbildung 24).



Auf eine eingehende Freibordbetrachtung auf dem Abschnitt unterhalb der ersten Traverse wird verzichtet, da die Projektsohle im Traversensystem gegenüber dem heutigen Zustand abgesenkt wird und in einem tiefen Einschnitt verläuft.

7.3 Bauliche Massnahmen

7.3.1 Randbedingungen

Entscheidende Randbedingung für die Projektierung der Massnahmen sind die engen Platzverhältnisse auf dem Gewässerabschnitt. Das Bahntrasse der BOB verunmöglicht eine Erweiterung des Gerinnes gegen das linke Ufer. Rechtsufrig besteht geringfügig Freiraum für bauliche Eingriffe bzw. eine Verschiebung des Gerinnes. Die heute rechtsseitig teilweise existierende Forststrasse soll erhalten resp. durch einen Unterhaltsweg flussaufwärts erweitert werden.

Oberhalb des Projektperimeters ist ein weiteres flussbauliches Projekt zwischen Loch und Sandweidli angedacht. Dieses wird voraussichtlich zu einem späteren Zeitpunkt realisiert und zieht u. a. eine Sohlenabsenkung in Betracht. Entsprechend muss das vorliegende definierte Bauwerk so ausgebildet sein, dass die Sohlenlage zu einem späteren Zeitpunkt allenfalls an das Oberliegerprojekt angeglichen werden kann.

Die Bauarbeiten im Gerinne müssen zwingend in einem Winterhalbjahr erfolgen. Eine Aufteilung in Etappen ist nicht möglich. Sämtliche Arbeiten ausserhalb des Gerinnes sind vorgängig auszuführen (Vorbereitungsarbeiten, Wasserhaltung, Massnahmen zum Schutz der Baustelle, Leitungsverlegungen). Somit kann die Niederwasserperiode (ca. Oktober bis Anfang April) vollumfänglich für die Arbeiten im Gewässer genutzt werden.

7.3.2 Gerinneneubau

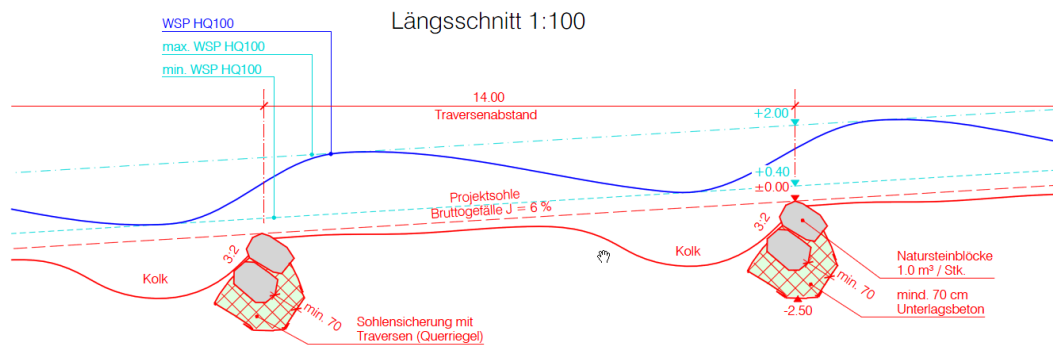
Die Sohle der Weissen Lutschine wird zum Ausgleich des Gefälles im Oberlauf der bestehenden Sperre abgesenkt und unterhalb etwas aufgeschüttet. Die Sperre wird bis rund 1 m unter die neue Sohle rückgebaut, so dass sie grundsätzlich keine Wirkung mehr hat und auch das neue Verbauungssystem nicht beeinträchtigt. Bei einem allfälligen Versagen des neuen Verbauungssystems bei Überlast kann die bestehende Sperre als Rückversicherung für das ganze System dienen.

Die Sohle wird bei einem Bruttogefälle von rund 6 % mit einem Traversensystem befestigt. Die Traversen (total 14 Stück) werden aus Blöcken, welche in Hinterbeton versetzt sind, erstellt. Die einzelnen Traversen weisen jeweils eine Absturzhöhe von ca. 0.85 m auf. Aufgrund des zu erwartenden turbulenten Abflusses, den Querströ-

mungen und weiteren lokalen Effekten, welche auf die Kolkbildung einen Einfluss haben können, sollen die Traversen auf eine Tiefe von 2.5 m unter die mittlere Sohlenhöhe fundiert werden (Abbildung 25). Die vorgesehene Fundationstiefe ist somit 1 m tiefer als die errechnete Kolkentiefe mit minimalem Geschiebetrieb (vgl. Kapitel 7.2.3 Traversenkolk).

Die Verbreiterung des Gerinnes auf eine Sohlenbreite von 14 m erfolgt rechtsufrig. Die bestehende Forststrasse wird entlang des Projektperimeters gegen den Hang verschoben. Im Bereich der bestehenden Sperre erfolgt eine maximale Sohlenabsenkung von rund 6.5 m.

Abbildung 25:
Längenprofil-Normalie
zweier Querriegel. Plan-
Nr. 3184-12, Stand
26.09.2018



Im Bereich des Traversen- wie auch des Kurvenkolks soll die Sohle mit lose verlegten Blöcken angereichert werden. Die Schwellen werden leicht gebogen ausgeführt, so dass eine Strömungskonzentration gegen Gerinnemitte entstehen kann und die Ufer weniger belastet werden (Abbildung 26). Die Bogenform wirkt sich statisch günstiger aus. Zudem sind für die Optimierung des Fischaufstiegs die Blöcke der Schwellen so angeordnet, dass eine ausgeprägte Aufstiegsrinne mit genügender Abflussbreite und Abflusstiefe entsteht (Abbildung 27). Die Lage der Niederwasserrinne gegenüber der Flussachse soll variieren.

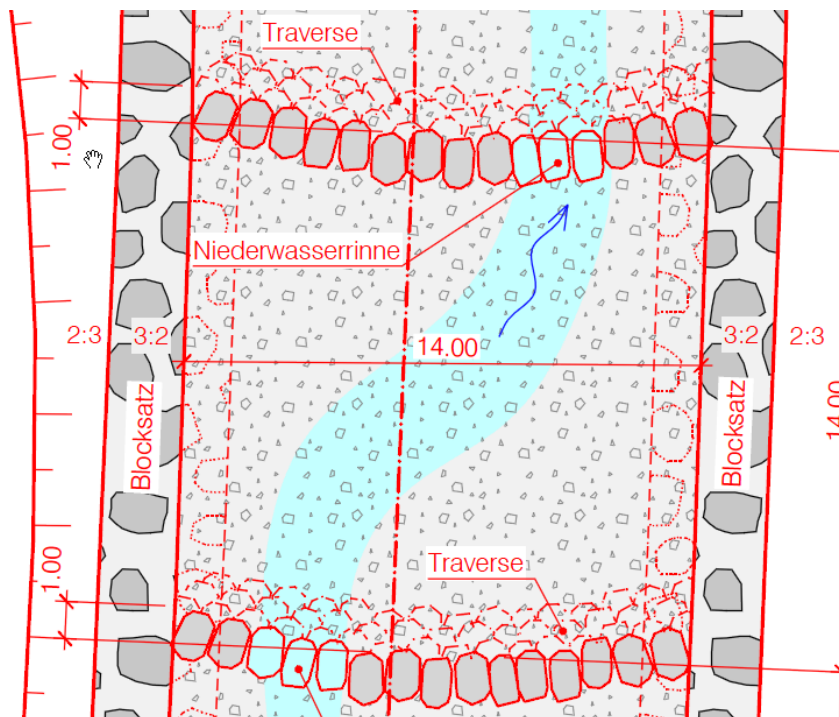


Abbildung 26:
Situations-Normalie
Querriegel (Traverse).
Plan-Nr. 3184-12, Stand
26.09.2018



Abbildung 27:
Niederwasserrinne zwischen zwei Blöcken in einem Querriegel (Foto: Modellversuche HSR, 1.4 m³/s Abfluss).

7.3.3 Uferschutz

Die Foundationstiefe des Uferschutzes basiert auf der berechneten Kolkttiefe S (1.3 m) aus der Traversensystemrechnung und wird um einen Sicherheitszuschlag vergrößert. Auf dem geraden oberen Abschnitt wird der Sicherheitszuschlag aufgrund von möglichen Unregelmässigkeiten im Sohlenmaterial mindestens 1 m angenommen. Entlang der Aussenkurve beträgt der Sicherheitszuschlag aufgrund möglicher Querströmungen und lokaler Effekte (beispielsweise einzelne grössere Blöcke) erfahrungsgemäss ca. 1.5 m. An der Kurveninnenseite hingegen reicht eine Foundation bis 2 m unter die mittlere Sohlenlage.

Die minimalen Foundationstiefen des Uferverbau relativ zur mittleren Sohlenlage betragen somit auf dem geraden oberen Abschnitt rund 2.3 m, entlang der Kurvenausenseite rund 2.8 m und an der Kurveninnenseite 2 m. Die Werte sind in der Tabelle 10 zusammengefasst.

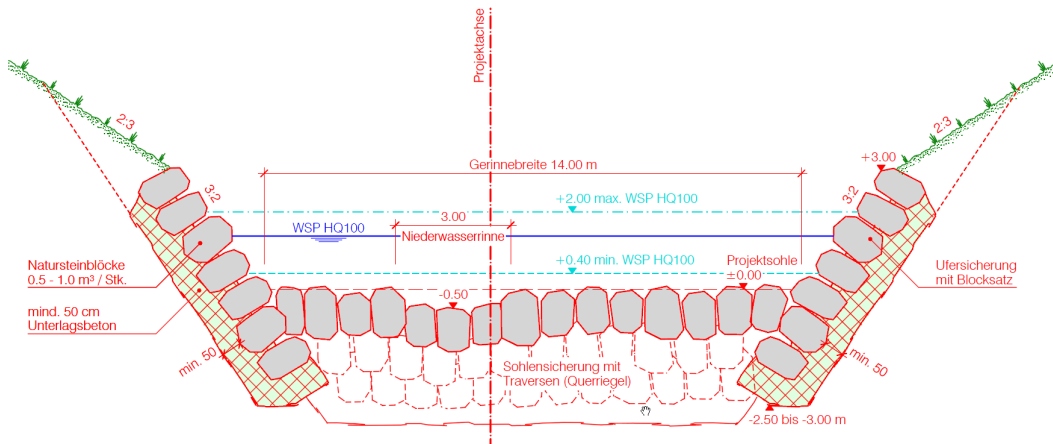
Aufgrund der knappen Platzverhältnisse wird der Uferschutz mit einer Böschungsneigung von 60° erstellt. Der Uferschutz kann aus Stabilitätsgründen nicht nur aus Blöcken ohne zusätzliche Befestigung erstellt werden. Die Blöcke sind in Beton zu verlegen. Die Böschungen werden mit einer Maximalneigung von 3:2 ausgeführt. Die Verbauungshöhe des Uferschutzes wird aus den in der Traversensystem-Berechnung ermittelten maximalen Abflusstiefen h_{max} (2.1 m) abgeleitet. Im Bereich der Aussenkurve werden höhere Abflusstiefen (2.2 m) und entsprechend auch grössere Schleppkräfte erwartet. Die Schleppspannung an den steilen Ufern ist so gross, dass ein harter Verbau bis zur maximalen Abflusstiefe notwendig ist. Der harte Uferschutz ist durchgehend auf eine Höhe von 2.2 m über die mittlere Sohlenlage vorgesehen. Darüber kann ein ingenieurbioologischer Uferverbau eingesetzt werden.

Die Angaben sind in der Tabelle 10 zusammengefasst und in der Querprofil-Normalie in Abbildung 28 gezeichnet.

Tabelle 10:
Angaben zu minimalen
Fundationstiefen und
Verbauungshöhen des
Uferschutzes.

	Fundationstiefe [m]	Verbauungshöhe [m]
gerader Abschnitt	2.3	2.2
Kurvenaussenseite	2.8	2.2
Kurveninnenseite	2.0	2.2

Abbildung 28:
Querprofil-Normalie.
Plan-Nr. 3184-12, Stand
26.09.2018



7.3.4 Verlegung Forststrasse

Die bestehende Forststrasse, welche heute bei km 2.540 endet und in einen Wanderweg übergeht, wird um rund 140 m bis zum bestehenden Steg verlängert. Die Strasse muss zudem auf dem gesamten Projektperimeter um bis zu 8 m bergwärts verschoben werden (Abschnitt von ca. 200 m). Dazu werden die teilweise sehr steilen Hänge über längere Abschnitte angeschnitten (Abtrag) und mit Blockmauern und Nagelwänden gesichert. Die Forststrasse wird auf eine nutzbare Breite von 3.20 m ausgebaut. Da es sich um einen im Bundesinventar der historischen Verkehrswege der Schweiz (IVS) verzeichneten historischen Weg handelt, erteilte der OIK auf Basis eines Gutachtens der "ViaStoria Beratungen" Auflagen zur Kompensation für die notwendigen Eingriffe (vgl. Dossierbeilage 2.7 Vernehmlassungsbericht Anhang A).

7.3.5 Wasserhaltungsmassnahmen

Für die Bauausführung von Oktober bis Anfang April sind die Wasserhaltungsmassnahmen auf 15 m³/s auszulegen. Die Lütschine ist dazu mit einem Querdamm zu fassen und in einem Kanal am rechten Ufer ausserhalb des Gerinnes zu führen (s. Planbeilagen). Somit kann der Gerinneneubau im trockenen erfolgen. Für die Instandstellung des linken Ufers unterhalb des Projektperimeters zwischen km 2.300 und 2.390 (BOB-Pflichtstrecke) wird eine Piste im Gerinne geschüttet und das Wasser entlang der Piste geführt.

7.3.6 Schutz der Baustelle gegen Stein- und Eisschlag

Die Firma Geotest hat zur Gefährdung der Baustelle durch Stein- und Eisschlag ein Gutachten erstellt (Beilage 2.2). Zum Schutz der Baustelle muss für die Bauausführung ein 240 m langes temporäres Steinschlagschutznetz im Wald angeordnet werden. Damit kann das Risiko für das Baustellenpersonal auf ein akzeptierbares Mass reduziert werden.

7.3.7 Erschliessung der Baustelle

Die Baustellenerschliessung erfolgt ab Zweilütschinen über die bestehende Forststrasse auf der rechten Gerinneseite. Entlang der rund 2 km langen Strasse werden dazu fünf temporäre Ausweichstellen für den Baustellenverkehr erstellt. Die Forststrasse wird nach Abschluss der Bauarbeiten wieder instand gestellt. Die Erschliessungsstrasse kann während der Bauausführung weder von Velofahren noch von Wanderern genutzt werden (vgl. Abschnitt 10.1).

7.3.8 Werkleitungsanpassungen

Zur Umsetzung des Projekts ist die bestehende Swiscomleitung am rechten Ufer vorgängig zu verlegen. An der Leitung ist das gesamte Lauterbrunnental angeschlossen. Bei km 2.600 ist zudem ein bestehender Freileitungsmast der BKW um rund 8 m zu versetzen.

7.3.9 Instandstellungsmassnahmen BOB

Unmittelbar unterhalb des Projektperimeters ist der Blocksatz am linken Ufer auf einer Länge von knapp 100 m lokale beschädigt. Die Sohle hat sich teilweise abgesenkt. Einzelne Blöcke sind unterkolkt oder verkippt. Die Wasserbaupflicht am linken Ufer tragen die Berner Oberland Bahnen (Pflichtstrecke). Die Schäden werden im Rahmen des Projekts instand gestellt (Ergänzung / Unterfangung Ufersicherung).

7.3.10 Betrieb und Unterhalt

Die Gerinneanpassung erfordert künftig keine speziellen Unterhaltsmassnahmen. Der Zustand von Sohlen- und Ufersicherungen ist im Rahmen des ordentlichen Gewässerunterhalts periodisch zu prüfen. Allfällige Schäden sind im Bedarfsfall zu beheben.

7.3.11 Ökologische Massnahmen

Um zwischen den Schwellen Rückzugsorte für die aufsteigenden Fische zu schaffen, sollen dem Uferschutz einzelne, nicht in den Uferschutz eingebundene Blöcke vorgelegt werden. Diese Blöcke dienen im Kurvenbereich (Kurvenaussenseite) zudem als Kolkenschutz.

Die Schwellen sollen so gestaltet werden, dass ein Fischaufstieg ohne weitere Hilfsmassnahmen (wie z.B. eine Fischtreppe) für die Zielart Seeforelle möglich ist.

Nach Abschluss der Bauarbeiten sollen die heute teilweise unbestockten Uferpartien, abgestimmt auf die technischen Eingriffe, mit Gehölzen bepflanzt und naturnah gestaltet werden. Die Bestockung erfolgt mit einheimischen, standortgerechten Arten gemäss Empfehlung der Abteilung Naturförderung. Die Ufervegetation soll möglichst durchgehend sein. Mit verschiedenen Kleinstrukturen im Abstand von 20 m oder weniger sollen Lebensräume für Tiere geschaffen werden (Stein- und Asthaufen, Wurzelstöcke).

Die anstehenden Erdarbeiten werden gestützt auf das Merkblatt "Bodenschutz lohnt sich" durchgeführt.

Für die ökologische Begleitung der Bauarbeiten wird eine entsprechend ausgebildete Fachperson mit der Umweltbaubegleitung beauftragt.

8 Kosten

8.1 Kostenvoranschlag

Die Gesamtkosten für das Wasserbauprojekt werden auf 6 Mio. Franken veranschlagt.
Die Genauigkeit des Kostenvoranschlags beträgt +/- 10 % (Preisbasis Sept. 2018).

Arbeiten	Kosten CHF
Bauarbeiten	5'125'000
Forstarbeiten (Rodungen- und Wiederaufforstungen)	65'000
Schutz der Baustelle gegen Eis- und Steinschlag	240'000
Baustellenerschliessung ab Zweilütschinen (Ausweichstellen, Unterhalt + Instandstellung)	100'000
Baustelleneinrichtung	200'000
Wasserhaltung mit Holzkanäle (Q = 15 m3/s)	290'000
Gerinneanpassung (Erstellung neues Gerinne)	2'870'000
NPK 117 Abbrüche und Demontage	70'000
NPK 213 Wasserbau	2'800'000
Verlegung Forstweg	580'000
NPK 164 Verankerungen und Nagelwände (Permanente Nagelwand)	250'000
NPK 183 Zäune (Zäune und Absturzsicherungen)	30'000
NPK 211 Baugruben und Erdbau	100'000
NPK 221 Fundationsschichten und Materialgewinnung	50'000
NPK 241 Ortbetonbau (Blocksteinmauer)	150'000
Sanierung linkes Ufer bis Soubach (BOB)	100'000
Risikokosten, gem. Zusammenstellung	315'000
Mehrwertsteuer 7.7%	365'000
Honorarkosten	800'000
Vorprojekt	40'000
Modellversuche HSR	180'000
Begleitung Modellversuche	40'000
Bauprojekt und Bewilligungsverfahren (WBB)	165'000
Umweltbaubegleitung + Bodenkundliche Baubegleitung	25'000
Konzept + Begleitung Steinschlagschutzmassnahmen	10'000
Ausschreibung, Ausführungsprojekt und Bauleitung	210'000
Risikokosten 10%	70'000
Mehrwertsteuer 7.7%	60'000
Landerwerb, Entschädigungen und Inkonvenienzen	20'000
Ertragsausfall / temp. Landbeanspruchung	5'000
Entschädigungen Holz (Vorzeitiger Abtrieb)	15'000
Vermessung und Vermarchung	20'000
Verschiedenes	35'000
Kosten Bewilligungsverfahren	15'000
Gebühren, Versicherungen, Mieten	10'000
Öffentlichkeitsarbeit, Koordination, Diverse	10'000
Total Kostenvoranschlag, inkl. MWSt.	6'000'000

Zusammenstellung der Risiken und Risikokosten	Kosten CHF	Eintr. wahrsch.	im KV berücks. CHF
- Veränderung Marktsituation (konjunkturelle Entwicklung)	300'000	20%	60'000
- übliche Baurisiken (ca. 10 % der Baukosten)	500'000	20%	100'000
- Erhöhter Preis für Natursteinblöcke aufgrund geringem Angebot	200'000	20%	40'000
- Geringe verfügbare Deponiemöglichkeit erhöhen Deponiegebühren	150'000	20%	30'000
- Baugrundrisiken: z.B. zusätzliche Sicherungsmassnahmen im Gleisbereich	100'000	15%	15'000
- Witterung/Abfluss erfordern Winterbau- oder Beschleunigungsmassnahmen	100'000	30%	30'000
- BKW überwälzt Kosten für Mastverlegung auf Wasserbauprojekt	150'000	20%	30'000
- Es werden Alllasten angetroffen	50'000	20%	10'000
Total Risikokosten	1'550'000		315'000

Im KV nicht enthalten: Kosten für Verlegung Swisscom-Leitung und Anpassung Freileitung BKW

8.2 Träger des Bauvorhabens / Kostenteiler

Der Bauherr des wasserbaulichen Vorhabens ist die Schwellenkorporation Lauterbrunnen. Die zuständige Leitbehörde ist der Obergeringenieurkreis I des Tiefbauamts des Kantons Bern. Als weitere Projektbeteiligte haben die Berner Oberland Bahnen AG (BOB) veranlasst, dass eine notwendige Ufersanierung unterhalb des eigentlichen Projektperimeters im Rahmen dieses Wasserbaubewilligungsverfahrens planrechtlich sichergestellt wird. Dieses Teilprojekt wird als indirekter Auftrag der BOB über die Wasserbaubewilligung abgewickelt und ist im Kostenvoranschlag aufgelistet. Es ist aber nicht durch die Wasserbaubehörde subventionierbar.

Weiter sind Abschnitte mit Bahninfrastrukturbauten nahe am Gewässer als Pflichtstrecken für die BOB ausgewiesen. Auf diesen Abschnitten ist die BOB objektschutzpflichtig. Momentan wird von einer Kostenbeteiligung seitens BOB von 50% ausgegangen, wobei Anteile davon subventionsberechtigter sind (Tabelle 11 und Tabelle 12).

In Absprache mit dem BAFU und dem OIK I gilt das Projekt grundsätzlich als Kombiprojekt (Hochwasserschutzprojekt, welches über das Minimum an naturnaher Gestaltung gemäss Art. 4 Abs. 2 WBG hinaus geht). Nach der Richtlinie „Beiträge für wasserbauliche Schutzbauten und Revitalisierungen im Kanton Bern“ [16] übernimmt der Kanton 25 % und der Bund 35 % der beitragsberechtigten Kosten (Grundsubvention für ein Kombiprojekt). Der Bund entrichtet zusätzlich im Sinne des Revitalisierungscharakters des Projekts einen Subventionszuschlag von 20 % für die Vernetzung in einem Abschnitt mit hohem Nutzen (Leistungsindikator 2.3.a im Handbuch Programmvereinbarung, Teil Revitalisierungen). Der gemeinsame Subventionsansatz von Bund und Kanton beträgt somit 80 % der anrechenbaren Kosten. Die restlichen anrechenbaren Kosten sollen zu 80 % durch den Renaturierungsfonds des Kantons Bern (RenF) und zu 20 % durch die Schwellenkorporation Lauterbrunnen getragen werden.

Tabelle 11:
Übersicht Kostenteiler.

		CHF (Basis KV 25.09.2018)	
Gesamtprojektkosten		101.8 %	6 000'000.-
Gesamtprojektkosten ohne Teilprojekt BOB		100 %	5 892'300.-
Kostenbeteiligung BOB		50 %	2 946'150.-
davon	nicht subventionsberechtigte Kosten (100 % BOB)	33 %	1 944'459.-
	subventionsberechtigte Kosten Wasserbau	17 %	1 001'691.-
wovon	80 % Subvention Bund/Kanton	13.6 %	801'353.-
	20 % Restkosten BOB	3.4 %	200'338.-
Kostenbeteiligung Schwellenkorporation		50 %	2 946'150.-
davon	Subvention Bund 55 %	27.5 %	1 620'383.-
	Subvention Kanton 25 %	12.5 %	736'538.-
	verbleibende Restkosten 20 %	10 %	589'230.-
wovon	80 % Subvention RenF	8 %	471'384.-
	20 % SK Lauterbrunnen	2 %	117'864.-

Tabelle 12:
Total anfallende Kosten
je Kostenträger.

		CHF (Basis KV 25.09.2018)	
Gesamtprojektkosten		100%	6 000'000.-
Total Kosten BOB inkl. Teilprojekt		37.5%	2 252'497.-
Total Kosten Bund und Kanton		52.6%	3 158'273.-
Total Kosten RenF		7.9%	471'384.-
Total Schwellenkorporation Lauterbrunnen		2.0%	117'846.-
Total Kanton und RenF		24.3%	1 458'344.-

Anfallende Kosten für vorgängig auszuführende Arbeiten wie die Verlegung einer Swisscom-Leitung oder eines Freileitungsmasts der BKW sind im Kostenvoranschlag nicht enthalten und werden voraussichtlich durch die Werkeigentümer getragen.

9 Bauablauf

Die Arbeiten im Gerinne können nicht etappiert werden. Der Gerinneneubau hat zwingen während einer Niederwasserperiode also in einem begrenzten Zeitfenster zwischen Oktober und Anfang April zu erfolgen. Aufgrund des Arbeitsumfangs erfordert dies einen reibungslosen und gut geplanten Bauablauf.

Sämtliche Massnahmen ausserhalb des Gerinnes sind bei Ende September auszuführen, so dass die Wasserhaltung im Oktober in Betrieb genommen werden und im Gerinne gearbeitet werden kann. Da sich der Projektperimeter im Wald befindet, ist das Rodungsverbot während der Fortpflanzungszeit der wildlebenden Säugetiere und Vögel von Anfang April bis Mitte Juli zu berücksichtigen. Die Rodungsarbeiten haben entweder vorher oder unmittelbar nachher zu erfolgen. Als erstes sind die Ausweichstellen für die Baustellenerschliessung und die Installationsplätze zu erstellen, die Swisscomleitung zu Verlegen und der BKW-Mast zu versetzen. Gleichzeitig erfolgen die Erdarbeiten für die Verlegung der Forststrasse und das Einrichten der Wasserhaltung. Der temporäre Steinschlagschutz sollte bis Ende Oktober, wenn Frostzyklen die Gefahr von Steinschlag erhöhen, erstellt werden (ca. 2 Monate Bauzeit).

Im Gerinne wird von unten gegen oben gearbeitet. Die Aushub- und Abtragsarbeiten und der Bau von Ufer- und Sohlensicherungen erfolgen parallel. Für die Bauausführung sind mehrere grosse Bagger einzusetzen. Das abgetragene Material wird mit Lastwagen abgeführt.

Die Bauarbeiten werden mit dem Rückbau der Wasserhaltung und der Wiederbestockung der Böschungen abgeschlossen. Das Versetzen des BKW-Masten, die Erstellung des Unterhaltswegs oder die Erstellung der Blockmauer am oberen Projektende könnten allenfalls auch erst nach dem Abschluss der Arbeiten im Gerinne erfolgen.

10 Auswirkungen Projekt / Massnahmen

10.1 Siedlungen und Infrastruktur

Das Projekt hat keine Auswirkungen auf die westlich der Bahnlinie stehenden Wohn- und Gewerbehäuser. Der kleine Schopf am rechten Ufer wird abgerissen (vgl. Abbildung 7).

Der Schutz der Infrastrukturanlagen der BOB (Bahnlinie Interlaken - Lauterbrunnen, Kreuzungsstelle und Bahnhof Sandweidli, Steuerungsanlage) wird durch die baulichen Massnahmen bis zu einem HQ_{100} -Szenario gewährleistet. Die Fixierung der Sohlenlage im Oberwasser wird auch in Zukunft sichergestellt sein. Dadurch werden Beschädigungen des Bahndamms infolge einer rückschreitenden Sohlenerosion weiterhin verhindert. Während der Bauzeit wird der Betrieb der BOB jederzeit aufrechterhalten. Sicherheitsvorkehrungen werden gemässe Vorgaben der BOB vorgenommen.

Nach Projektausführung dürfte das momentan bestehende Fahrverbot für Riverrafting-Boote aufgehoben werden. Mit dem neuen Sohlenverbau kann die Weisse Lütschine wieder befahren werden.

Der Velo- und Wanderweg ist jeweils während den Wintermonaten wegen Eis- und Steinschlaggefahr gesperrt. Während der Projektausführung muss er ausnahmsweise auch ausserhalb der sonst üblichen Sperrzeit gesperrt bleiben, da die Baustellenzufahrt rechtsufrig über die Forststrasse von Zweilütschinen herführt und die Sicherheit für Fuss- und Veloverkehr während den Transportfahrten nicht gewährt werden kann. Eine vorübergehende Verbreiterung der Forststrasse oder provisorische Verlegung des Wanderwegs ist nicht zweckmässig, da zu wenig Platz zur Verfügung steht. Der Veloweg kann über die Hauptstrasse umgeleitet werden, für den Wanderweg gibt es keine Alternativrouten. Entsprechende Massnahmen für Umleitung und Sperrung werden in Absprache mit der Gemeinde Lauterbrunnen und Berner Wanderwege umgesetzt.

10.2 Werkleitungen

Während der Verlegung der betroffenen Werkleitungen ist allenfalls mit kurzen Betriebsunterbrüchen zu rechnen. Ansonsten hat das Projekt keine Auswirkungen auf bestehende Werkleitungen.

10.3 Gewässerökologie und Fischerei

Mit dem Traversensystem mit 14 Traversen und extra vorgesehenen Niederwasserrinnen in den einzelnen Riegeln kann die heutige hohe Betonsperre ersetzt und der Fischaufstieg gegenüber dem heutigen Zustand verbessert werden. Die dazu notwendigen baulichen Massnahmen werden in enger Zusammenarbeit mit dem Fischereinspektorat des Kantons Bern erarbeitet und durch Fischexperten begleitet.

Mit den geplanten Massnahmen werden die wichtigen Laichgebiete in der Talebene von Lauterbrunnen für Seeforellen aus dem Brienersee wieder jederzeit erreichbar. Die Lütschine bleibt damit eines der beiden wichtigsten Laichgewässer für Seeforellen im Kanton Bern.

Ausserhalb des Sohlenbereichs kann aufgrund der engen Platzverhältnisse weder die Längs- noch die Quervernetzung verbessert werden. Das Ufer wird womöglich bestockt, um Uferbereiche und Rückzugsorte zu beschatten.

10.4 Landwirtschaft

Für die Verlängerung des Unterhaltswegs werden zwischen dem bestehenden Fussgängersteg und dem abzubrechenden alten Schopf 400 m² Landwirtschaftsfläche benötigt. Ansonsten werden durch das Projekt keine weiteren Landwirtschaftsflächen beansprucht.

10.5 Wald

Für das Vorhaben sind 4'600 m² Wald zu roden. Davon werden 4'000 m² an Ort und Stelle wieder aufgeforstet (temporäre Rodung). 600 m² sind definitiv zu roden. Die Ersatzaufforstung dieser Fläche erfolgt angrenzend an den bestehenden Wald am oberen Ende des Projektperimeters. Das Rodungsvorhaben ist auf dem Rodungs- und Ersatzaufforstungsplan dargestellt.

10.6 Flora und Fauna

Durch die womöglich durchgängige Uferbestockung und extensive Nutzung im Gewässerraum kann eine deutlich grössere floristische Artenvielfalt gedeihen als bisher. Auch die Tierwelt profitiert von den neuen Lebensräumen. Die Längsvernetzung der Flora und Fauna wird nach den Änderungen dank der Extensivierung und der umfangreicheren Uferbestockung gegenüber dem Ist-Zustand verbessert.

Um eine möglichst hohe Artenvielfalt fördern zu können, wird das Erstellen eines Mosaiks von verschiedenen Lebensräumen mit Kleinstrukturen angestrebt (Ast- und Steinhaufen).

Die Ufer werden teils flacher ausgebildet als heute und ermöglichen deshalb Tieren einen einfacheren und geschützten Zugang zum Wasser.

10.7 Grundwasser und Oberflächengewässer

Es werden keine Auswirkungen auf mögliche Grundwasserträger vermutet.

Neben der Weissen Lutschine sind keine weiteren Oberflächengewässer durch das Projekt Hochwasserschutz und Längsvernetzung Sperre Sandweidli betroffen. Ein Entwässerungskonzept und ein Konzept zum Schutz der Oberflächengewässer mit den konkreten Massnahmen für die Bauphase wird vor Baubeginn erstellt und dem Amt für Wasser und Abfall (AWA) zur Prüfung eingereicht.

10.8 Landschaft und Ortsbild

Das neue Verbauungssystem mit 14 rund 0.85 m hohen Blockschwellen gliedert sich besser in das Landschaftsbild ein als die massive bestehende Betonsperre, zumal der Gerinnecharakter im Sohlenbereich wie auch das Gefälle an den Unterlauf des Perimeters angeglichen werden. Die erkennbare Absturzhöhe je Traverse (Wasserspiegeldifferenz) fällt deutlich geringer aus als die effektive Bauhöhe einer Traverse und lässt die einzelnen Riegel deutlich kleiner erscheinen. Der verwendete Hinterbeton zur Befestigung des Blockverbaus der steilen Ufer und der Riegel ist kaum erkennbar und lässt das Bauwerk nicht als künstlich erscheinen.

Das steilere Längsgefälle führt oberhalb der heutigen Sperre zwar zu einem tieferen Einschnitt, gibt aber die ursprünglichen Gefällsverhältnisse des Wildbachs besser wieder. Das Ortsbild von Sandweidli wird durch das Projekt nicht beeinträchtigt.

Der historische Weg wird im Projektperimeter teilweise bergwärts verlegt. Die in diesem Abschnitt schützenswerte traditionelle Kiesoberfläche als IVS-Substanz wird nach Abschluss der Bauarbeiten wieder in Stand gestellt. Die im Zusammenhang mit der

Wegverlegung neu erstellte Blocksteinmauer, der Verlauf und die Begrünung der Nagelwand sollen durch die "ViaStoria Beratungen" fachkundlich begleitet werden. Die Neubauten werden so gut wie möglich in die Landschaft integriert.

10.9 Unterhalt und Pflege

Die Schwellenkorporation Lauterbrunnen ist als wasserbaupflichtige Körperschaft für den Unterhalt der Gewässer und Schutzbauen zuständig. Es werden periodische Gewässerinspektionen durchgeführt.

Durch die geplanten wasserbaulichen Massnahmen werden gegenüber dem heutigen Zustand keine weiteren, zusätzlichen Unterhaltsarbeiten erwartet. Der Unterhaltsweg als Verlängerung der bestehenden Forststrasse entlang des rechten Ufers erleichtert den Zugang für allfällige Unterhaltsmassnahmen.

Aufkommende invasive Pflanzen (invasive Neophyten) werden in den ersten vier Jahren durch die Schwellenkorporation bekämpft. Danach ist die Gemeinde dazu verpflichtet, für eine geeignete Bekämpfung im Uferbereich zu sorgen.

Die Bestockung der Ufer muss in einem üblichen Umfang regelmässig gepflegt werden. Die detaillierte Pflege der Uferbestockung wird zu einem späteren Zeitpunkt im Rahmen eines Pflegekonzeptes in Absprache mit den zuständigen Behörden ausgearbeitet.

Durch das fischgängige Traversensystem und die hinfällig gewordene provisorische Fischaufstiegshilfe reduziert sich der Aufwand zur Aufrechterhaltung der Fischwanderung stark.

11 Verbleibende Gefahren und Risiken

11.1 Überlast

Die Variante II mit einem Schwellenabstand von 14 m kann je nach Untergrundmaterial bis zu einem Abfluss von 100 bis 110 m³/s belastet werden, bevor es zu einem Umschlagen des Kolkes kommt. Wird die Sohle zwischen den Schwellen mit Blöcken angereichert bzw. wird ein Kolkschutz vorgesehen, wird die Stabilität der Sohle erhöht. Ein System mit Hinterbeton ist für die Dimensionierungsabflüsse sehr robust.

Bei einer massiven Überlastung des Systems reagieren in Hinterbeton fixierte starre Systeme nicht besonders gutmütig. Es kann zu einem dominoartigen Versagen führen, falls der Kolk in mehreren benachbarten Traversenfeldern umschlägt und die starren Traversen unterspült werden. Dieses Szenario hätte ein Absenken der Sohle und eine rückschreitende Erosion in der Weissen Lutschine zur Folge. Zudem könnte der Uferschutz unterspült und das Erdmaterial hinter dem Uferschutz destabilisiert werden.

12 Termine

Zum Zeitpunkt der Auflage wird von folgendem Terminplan ausgegangen:

Projektaufgabe	März 2019
Genehmigung, Subventionsbeschluss	Sommer 2019
Frühester Baubeginn	Winter 2019/2020

13 Verwendete Grundlagen

- [1] Bezzola (2013): Vorlesungsmanuskript Flussbau, Fassung FS 2013, *ETH Eidgenössische Technische Hochschule Zürich*.
- [2] Bundesamt für Umwelt BAFU (2014 und 2017). Hochwasserwahrscheinlichkeiten (Jahreshochwasser), *Weisse Lütschine – Zweilütschinen* (EDV: 2200), Bern.
- [3] Geoportal des Kantons Bern: Naturgefahrenkarte Wassergefahren. www.map.apps.be.ch, aufgerufen am 12.05.2017.
- [4] Kanton Bern: Bau-, Verkehrs- und Energiedirektion BVE; Justiz-, Gemeinde- und Kirchendirektion JGK; Volkswirtschaftsdirektion VOL. GEKOB.2014 Strategische Planung 2011 - 2014 nach GSchG/GSchV. Sanierung des Geschiebehaushaltes im Kanton Bern. Schlussbericht. *Flussbau AG SAH*. 29.11.2014.
- [5] Renaturierungsfonds des Kantons Bern, Berner Oberland Bahn AG. Weisse Lütschine - Konzeptstudie Sohlenabsenkung Sandweidli. *Jäggi Flussbau und Flussmorphologie, Porta Ingenieure*. 01.02.2013.
- [6] Tiefbauamt des Kantons Bern, Oberingenieurkreis I. Hochwasser 2011. Lokale, lösungsorientierte Ereignisanalyse (LLE) Lütschine. *Flussbau AG SAH et. al.* Bern, 17.12.2014.
- [7] Tiefbauamt des Kantons Bern, Oberingenieurkreis I. Massgebende Hochwasser der Lütschine. Unter Berücksichtigung der Häufung der Hochwasser seit Jahr 2000. Bericht über die hydrologische Analyse. *Hybest GmbH, Hydrologie und Wasserbau Dr. Christoph Lehmann*. Oktober 2012.
- [8] Tiefbauamt des Kantons Bern, Oberingenieurkreis I. Weisse Lütschine Gündlischwand. Neubau Zweilütschinenbrücke. *Flussbau AG SAH*. Bern, 05.09.2014.
- [9] Gefahrenkarte Lütschine, Grindelwald, Gündlischwand, Gsteigwiler, Lauterbrunnen, Lütschental, *Ingenieure Bart AG*, 2013.
- [10] Gewässer- und Bodenschutzlabor des Kantons Bern: Ökomorphologie der Fließgewässer, Nachführung Stand 29.02.2012.
- [11] Weichert R., Bezzola G. R. & Minor E. H. (2007): Stufen-Becken-Abfolge als sohlenstabilisierende Massnahme. *Wasser Energie Luft*, 99 Jg. (1) , 161-166.
- [12] Schwellenkorporation Zweisimmen. Wasserbauplan Hochwasserschutz Betelried. Entwurf Auflagedossier 17.05.2018. *Theiler Ingenieure AG und Flussbau AG SAH*, Zweisimmen, 17.05.2018.
- [13] Schwellenkorporation Lauterbrunnen (2017): Technischer Bericht Modellversuche Serie A, Stufen-Becken-Gerinne Sandweidli, *Institut für Bau und Umwelt IBU, Hochschule für Technik Rapperswil*
- [14] Guthruf, J.; Dönni, W. (2017): Können aufsteigende Seeforellen eine Riegelabfolge (Transversalsystem) in der Lütschine überwinden? Etho-hydraulische Überlegungen anhand eines hydraulischen Modells an der technischen Hochschule Rapperswil. – Bericht Aquatica, Fischwerk, Auftrag: Renaturierungsfonds des Kantons Bern: 22 S.
- [15] Volkart P. (1972): Die Stabilisierung von Flussläufen mittels einer Folge von Querschwellen. Mitteilung Nr. 6, Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW), ETH Zürich.
- [16] Tiefbauamt des Kantons Bern. Richtlinie Beiträge für wasserbauliche Schutzbauten und Revitalisierungen im Kanton Bern (ab 01.01.2016). 18.09.2015.
- [17] Geotest AG: Gefahrenkarte Lauterbrunnen, Aktualisierte Version vom Juli 2013, Bericht Nr. 1412151.1., 2013.
- [18] KAWA, Abteilung Naturgefahren: Digitaler Ereigniskataster Naturgefahren des Kantons Bern, Interlaken, 2017.
- [19] KOHS 2013: Freibord bei Hochwasserschutzprojekten und Gefahrenbeurteilungen, Empfehlungen der Kommission für Hochwasserschutz, *wasser energie luft*, 105 (1), S. 43 – 50.
- [20] Geoportal des Kantons Bern: Grundwasser Karte. www.map.apps.be.ch, aufgerufen am 23.05.2019.

Anhang A – Grobkostenschätzung Vorprojekt

Grobkostenschätzungen (+/- 25 %)

Beträge in CHF

	Variante 1 Instandstellung	Variante 2 Blockrampe lang	Variante 3 Blockrampe kurz	Variante 4 Traversensystem	Variante 5 Stufen-Becken	Variante 6 Kombination
Baukosten	1'800'000	3'600'000	2'800'000	2'600'000	2'700'000	2'700'000
Modellversuche	0	0	0	0	100'000	100'000
Honorarkosten	16%	580'000	450'000	420'000	430'000	430'000
Projektnebenkosten	10%	360'000	280'000	260'000	270'000	270'000
Mehrwertsteuer	8%	360'000	280'000	260'000	270'000	270'000
Total inkl. MWSt.	2'450'000	4'900'000	3'810'000	3'540'000	3'770'000	3'770'000

Anhang B – Nutzwertanalyse Variantenstudium Vorprojekt

Vorprojekt Hochwasserschutz / Längsvernetzung Lütschine Sperre Sandweidli

Nutzwertanalyse Variantenstudium

Unterziele		Gewichtung		Varianten														
		relativ	absolut	1 Instandstellung	2 Blockrampe lang	3 Blockrampe kurz	4 Traversensystem	5 Stufen-Becken	6 Stufen-Becken mit BloRa	Punkte	Total	Punkte	Total					
Bewertungsskala: 5 sehr gut 4 gut 3 neutral / durchschnittlich 2 ungünstig 1 sehr schlecht		400%	100%															
1. Hochwasserschutz / technische Aspekte		100%	35%	1.4	0.7	0.7	1.6	1.3	0.7									
1.1 Systemicherheit / Verhalten bei Überlast		70%	25%	4	0.49	0.49	1.23	0.74	0.49	3	3	5	2	2	2	2	0.49	0.21
1.2. Anpassungsfähigkeit an Oberliegerprojekt		30%	11%	4	0.21	0.21	0.42	0.53	0.21	4	4	5	2	2	2	0.21	0.21	0.21
2. Umwelt		100%	30%	0.7	0.8	1.1	1.1	1.4	1.2									
2.1 Fischdurchgängigkeit		60%	18%	2	0.36	0.72	0.72	0.90	0.72	4	4	5	4	4	4	0.72	0.72	0.72
2.2 Aufwertung Gewässerstruktur		10%	3%	1	0.03	0.09	0.12	0.15	0.15	3	3	4	5	5	5	0.15	0.15	0.15
2.3 Aufwertung Uferbereiche		10%	3%	1	0.03	0.06	0.09	0.12	0.12	2	2	3	4	4	4	0.12	0.12	0.12
2.4 Beeinträchtigung Wald		10%	3%	5	0.15	0.09	0.06	0.12	0.12	4	2	4	4	4	4	0.12	0.12	0.12
2.5 Landschaftsbild		10%	3%	3	0.09	0.09	0.12	0.15	0.15	3	3	4	4	4	4	0.12	0.12	0.12
3. Wirtschaftlichkeit		100%	25%	1.0	0.6	0.7	0.8	0.8	0.7									
3.1 Gesamtkosten		80%	20%	4	0.40	0.60	0.60	0.60	0.60	2	3	3	3	3	3	0.60	0.60	0.60
3.2 Rasche Umsetzbarkeit		5%	1%	5	0.06	0.03	0.05	0.06	0.06	2	2	2	2	2	2	0.03	0.03	0.03
3.3 Unterhalts-/Betriebsaufwand		5%	1%	3	0.04	0.05	0.06	0.06	0.06	4	4	5	5	5	5	0.06	0.06	0.06
3.4 Landbedarf		5%	1%	5	0.06	0.04	0.03	0.05	0.05	4	3	2	2	4	4	0.05	0.05	0.05
3.5 Beeinträchtigung BOB		5%	1%	5	0.06	0.03	0.01	0.05	0.05	4	2	1	4	4	4	0.05	0.05	0.05
4. Gesellschaft / Akzeptanz		100%	10%	0.5	0.3	0.4	0.4	0.3	0.3									
4.1 Akzeptanz Bevölkerung		50%	5%	5	0.25	0.20	0.20	0.15	0.15	3	4	4	3	3	3	0.15	0.15	0.15
4.2 Wassersport		50%	5%	5	0.25	0.15	0.15	0.15	0.15	3	3	3	3	3	3	0.15	0.15	0.15
Nutzwert				3.6	2.4	2.8	3.9	3.8	3.0									
Rang				3	6	5	1	2	4									